

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektrotechniky

**Návrh bezpečnostní částí ovládacích systémů strojního
zařízení**

**Design of safety related parts of control systems of
machinery**

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Jasinský**

Studijní program: N2661 Projektování elektrických systémů a technologií

Téma: **Návrh bezpečnostní částí ovládacích systémů strojního zařízení**
Design of safety related parts of control systems of machinery

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Pro vybrané strojní zařízení navrhnete bezpečnostní části ovládacího systému.

1. Seznamte se s metodikou identifikace a analýzy rizik u strojních zařízení dle platných norem.
2. Na základě identifikace nebezpečných zón a rizik navrhnete bezpečnostní části ovládacích systémů a odhadnete požadovanou úroveň vlastností PL.
3. Srovnajte navrženou úroveň podle norem typu B s požadavky norem typu C, jsou-li k dispozici.
4. Návrh HW.
5. Z katalogových údajů a podkladů výrobců komponent pro bezpečnostní techniku specifikujte jednotlivé položky.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN EN ISO 13849-1, ČSN EN ISO 12100, ČSN EN ISO 14121, ČSN EN, ČSN EN 201 a další.
Katalogové listy výrobců komponent.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Mlčák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2019

Datum odevzdání: 30.04.2020

doc. Ing. Vítězslav Stýskala, Ph.D.
vedoucí katedry

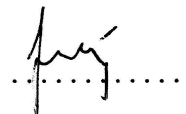


prof. Ing. Pavel Brandštetter, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě, dne 15. května 2020



Bc. Jan Jasinský

Poděkování

Své poděkování bych chtěl vyjádřit vedoucímu diplomové práce panu Ing. Tomáši Mlčákovi, Ph.D. za spolupráci při realizaci diplomové práce, odborné rady, poznatky a poznámky týkající se zadané problematiky.

Abstrakt:

Tato diplomová práce se zabývá návrhem bezpečnostní části ovládacího systému pro strojní zařízení. Hlavním úkolem bylo seznámit se s metodou posouzení rizika a analýzou rizik u strojních zařízení, odhadem požadované úrovně vlastností pro bezpečnostní část ovládacího systému.

Navrhuji fiktivní průmyslovou technologii, skládající se ze dvou částí, provádím posouzení a analýzu rizik, z katalogových údajů navrhuji využití vhodných bezpečnostních komponentů, za účelem snížení identifikovaných rizik. Pro návrh bezpečnostních komponentů jsem si vybral společnost Rockwell Automation.

Pro demonstraci hardwarové části navrhuji sestavení dvou laboratorních panelů, osazených využitými bezpečnostními prvky a programovatelnými bezpečnostními řídicími jednotkami. Následně provádím návrh konstrukční, softwarové a elektrické části pro oba laboratorní panely.

Veškerá projektová dokumentace této diplomové práce je uvedena v přílohách pod příslušným označením. Seznam příloh je uveden na konci této diplomové práce.

Klíčová slova:

Bezpečnost, bezpečnostní ochrana, posouzení rizika, analýza rizika, riziko, strojní zařízení, úroveň vlastností.

Abstract:

This diploma thesis deal with the design of safety part of the control system for machinery. The main task was to get acquainted with the method of risk assessment and risk analysis of machinery, estimating required performance level for the safety-related part of control system.

I propose a fictitious industrial technology, consisting of two parts, I make an assessment and risk analysis, from the catalog I suggest the use of appropriate safety components, for a purpose reduction the identified risks. I chose company Rockwell Automation for the design of safety components.

For demonstration to the hardware part I suggest to assemble two laboratory panels, where are fitted used safety components and programable safety controllers. Then I am making a suggestion software, electrical parts and constructions for both laboratory panels.

All project documentation of this diploma thesis is situated in the attachment under the appropriate markings. List of attachments is listed at the end this diploma thesis.

Keywords:

Safety, safeguarding, risk assessment, risk analysis, risk, machinery, performance level.

Obsah

Úvod.....	10
1. Uvedení do bezpečnosti strojních zařízení.....	11
1.1. Legislativní rámec	11
1.2. Základní pojmy	12
1.3. Význam bezpečnosti strojních zařízení.....	13
2. Posouzení, analýza a snižování rizik.....	14
2.1. Snižování rizika – konstrukční prvky.....	16
2.2. Snižování rizika – bezpečnostní ochrana	16
2.3. Snižování rizika – dodatková ochrana.....	19
3. Návrh bezpečnostní části ovládacího systému	20
3.1. Popis navrhované technologie.....	20
3.2. Určení rizik technologie	21
3.3. Určení PL_r jednotlivých rizik a návrh pro snížení rizika.....	22
3.4. Návrh vhodných bezpečnostních opatření	29
3.4.1. Bezpečnostní komponenty	30
3.4.2. Ovládací část bezpečnostních komponentů.....	39
3.5. Návrh modelu technologie	42
3.6. Programová část.....	45
4. Kontrola navrženého systému	51
Závěr	53
Seznam použité literatury.....	54
Seznam příloh.....	55

Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Název veličiny / zkratky	Jednotka
I	elektrický proud	(A)
R	elektrický odpor	(Ω)
U	elektrické napětí	(V)
l	délka	(m)
t	čas	(s)
v	rychlost	(m/s)
AC	Alternating Current – střídavý proud	
B_{10D}	počet cyklů do 10 % nebezpečných selhání komponentů	
C	počet cyklů za hodinu	
CCF	Common Cause Failure – porucha se společnou příčinou	
DC	Diagnostic Coverage – diagnostické pokrytí	
DI	Digital Input – digitální vstup	
DO	Digital Output – digitální výstup	
EDM	External Device Monitor – externí monitorování zařízení	
ES	evropské společenství	
EU	European Union – evropská unie	
I/O	Input / Output – vstup / výstup	
IP Address	Internet Protocol Address – adresa internetového protokolu	
IP Code	Ingress Protection Code – stupeň krytí	
K	rychlost přiblížení	
LAN	Local Area Network – lokální síť	
LED	Light-Emitting Diode – elektroluminiscenční dioda	
MTTF _D	Mean Time To Dangerous Failure – střední doba do nebezpečné poruchy	
N/C	No Connection – nepřipojeno	

N.C.	Normally Closed – normálně zavřeno	
N.O.	Normally Open – normálně otevřeno	
OSSD	Output Signal Switching Device – přepínací zařízení výstupních signálů	
PFH _D	Probability of Dangerous Failure on Hour – průměrná pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu	
PL	Performance Level – úroveň vlastností	
PLr	Required Performance Level – požadovaná úroveň vlastností	
PLC	Programmable Logic Controller – programovatelný logický kontroler	
RFID	Radio Frequency Identification – identifikace na rádiové frekvenci	
S	minimální bezpečná vzdálenost	
S_C	doplňek vzdálenosti k nebezpečnému prostoru	
SIL	Safety Integrity Level – úroveň integrity bezpečnosti	
SRP/CS	Safety-Related Part of Control System – bezpečnostní část ovládacího systému	
SELV	Separated Extra Low Voltage – oddělené malé napětí	
SWS	Single Wire Safety – bezpečnostní signál po jednom vodiči	
T_M	čas zastavení / doběhu stroje	
T_S	doba odezvy SafeZone Mini	
V DC	Voltage Direct Current – napětí stejnosměrného proudu	
VPN	Virtual Private Network – virtuální privátní síť	
Z_G	bezpečnostní doplněk související s chybou měření odrazu	
Z_R	doplňek související s chybou měření	
d_{op}	počet využitých dnů za rok	
h_{op}	počet využitých hodin za den	

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Graf pro určení požadované PL_r pro bezpečnostní funkci [2]	14
Obrázek 2 - Proces snižování rizika [1]	15
Obrázek 3 - Diagnostické pokrytí DC – zastoupení jednotlivých poruch [3]	17
Obrázek 4 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 1	23
Obrázek 5 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 2	24
Obrázek 6 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 3	25
Obrázek 7 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 4	26
Obrázek 8 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 5	27
Obrázek 9 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 6	28
Obrázek 10 - Dispozice a princip okraje citlivého na tlak [5]	30
Obrázek 11 - Okraj citlivý na tlak [5]	30
Obrázek 12 - Magnetický spínač vzájemného blokování 440N-Z21SS2HN9 [5]	31
Obrázek 13 - Jazyčkový blokovací zámek (Trojan 6) 440K-T11171 [5]	32
Obrázek 14 - Určení minimální vzdálenosti S [5]	33
Obrázek 15 - Laserový skener SafeZone Mini 442L-SFZNMN [5]	34
Obrázek 16 - Rohož citlivá na tlak 440F-M1010BYNN [5]	34
Obrázek 17 - Světelná závora GuardShield 450L-E4FL0450YD [5]	35
Obrázek 18 - Senzor na detekci ruky 442L-SAF-CAM1 [5]	37
Obrázek 19 - Bezpečnostní zámek 440G-LZS21STRA [5]	37
Obrázek 20 – E-STOP s tenzním vstupem 440E-LL5SE8 [5]	38
Obrázek 21 - Bezpečnostní programovatelná jednotka 5069-L310ERS2 [5]	39
Obrázek 22 - Bezpečnostní programovatelné relé 440C-CR30-22BBB [5]	40
Obrázek 23 - Průběh SWS signálu [5]	40
Obrázek 24 - Příklad zapojení sběrnice GuardLink k bezpečnostním relé Guardmaster [5]	41
Obrázek 25 - Výukový panel 1 (vlevo) a 2 (vpravo)	44
Obrázek 26 - Bezpečnostní prvky osazené na samostatných rámech	44
Obrázek 27 - Vytvořená konfigurace jednotky 5069-L310ERS2 v programu Logix Designer	46
Obrázek 28 - Zjištění připojených prvků pomocí RSLinx Classic	46
Obrázek 29 - Ukázka programu z hlavní části v Logix Designer	47
Obrázek 30 - Nastavení první DI karty pro připojení solenoidového bezpečnostního zámku	48
Obrázek 31 - Nastavení DO karty pro připojení bezpečnostních stykačů KA1 a KA2	48
Obrázek 32 - Ukázka programu z bezpečnostní části v Logix Designer	49
Obrázek 33 - Pracovní prostředí při programování relé 440C-CR30	49
Obrázek 34 - Hierarchie prvků pro sběrnici GuardLink	50
Obrázek 35 - Nastavené detekované pásmo laser skeneru	50
Obrázek 36 - Dosažené PL a PFH_D pro skupinu bezpečnostních prvků výukového panelu 1	51
Obrázek 37 - Výpočet PL a PFH_D pro tlačítko E-STOP na sběrnici GuardLink	52

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Převodní tabulka PL na SIL [2].....	14
Tabulka 2 - Míra diagnostického pokrytí [2]	17
Tabulka 3 - Kategorie pro SRP/CS a chování systému v případě závad [2]	18
Tabulka 4 - Nastavené IP adresy pro prvky připojené síť LAN	45

Úvod

Cílem mé diplomové práce je seznámení se s metodikou identifikace a analýzou rizik u strojních zařízení dle platných norem, určení úrovně vlastností PL (Performance Level) a návrh vhodných bezpečnostních komponentů pro snížení detekovaných rizik.

První část práce je věnována legislativnímu rámci, kde se zabývám požadavky na zhotovitele a provozovatele strojních zařízení, dělení norem na jednotlivé třídy a uvádím základní pojmy pro pochopení teoretických poznatků, které používám v této práci. Na konci první části se věnuji významu bezpečnosti strojních zařízení. Legislativní část vychází z příslušných zákonů a norem, například ČSN EN ISO 12 100 Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika.

Druhá část diplomové práce je zaměřena na princip určování rizik a snížení rizik dostupnými metodami – konstrukčními prvky, bezpečnostní ochranou a dodatkovou ochranou. Tato část vychází z normy ČSN EN ISO 13 849-1 Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci.

V následující části popisuji určenou technologii, která se zabývá zpracováváním zeleniny, provádím analýzu rizik, určuji PL_r (Required Performance Level) a navrhuji využití vhodných bezpečnostních komponentů pro snížení rizik. Bezpečnostní prvky vybírám z katalogů společnosti Rockwell Automation. Následně se věnuji nastavování jednotlivých bezpečnostních řídicích jednotek, respektive bezpečnostních komponentů a kontrole správnosti navrženého systému z hlediska bezpečnosti.

Výsledkem je návrh dvou výukových panelů, sloužících pro představení využitých bezpečnostních komponentů, které se v bezpečnostní technice vyskytují. Součástí diplomové práce je taktéž konstrukční návrh obou výukových panelů. Veškerá dokumentace se nachází v přílohách společně s technickou zprávou, položkovou specifikací a manuálem.

1. Uvedení do bezpečnosti strojních zařízení

1.1. Legislativní rámec

Legislativa stanovuje nároky jak na výrobce, tak na provozovatele strojních zařízení. Hlavní cíl legislativy je, aby výrobce navrhl, zkontroloval, vyrobil a uvedl na trh jen takový stroj, který je bezpečný. Provozovateli ukládá, aby používal jen bezpečný stroj. O technických požadavcích na výrobky pojednává zákon č. 91/2016 Sb., upravující zákon č. 22/1997 Sb.

Při uvádění strojního zařízení na trh musí výrobce splnit základní požadavky:

- musí být provedeno, instalováno udržováno a používáno pro účely udávané výrobcem, ke kterým je určeno, a za podmínek které lze důvodně předvídat, aby nedocházelo k ohrožení zdraví a bezpečnosti osob,
- má k dispozici technickou dokumentaci, informace a návody,
- má zajištěné prohlášení o shodě a bylo přiloženo ke strojnímu zařízení,
- je opatřeno značkou CE (popř. UKCA – v UK po brexitu).

Vypracování ES prohlášení o shodě a označení značkou CE může výrobce udělat sám, pokud splní veškeré náležitosti, popřípadě označení svěří kvalifikované firmě.

V dnešní době je spousta norem, předpisů a zákonů, které výrobci strojních zařízení musí dodržovat. Už při samotném návrhu je zapotřebí uvažovat, ve které zemi bude strojní zařízení provozováno, jelikož zákony a předpisy se v jednotlivých zemích mohou lišit. Jiné náležitosti strojní zařízení bude muset splňovat, při užívání v EU, jiné náležitosti budou kladeny na stroje pro použití v USA a jiné na stroje užívané v Asii nebo Africe. [3]

Výrobci se při návrhu a výrobě strojních zařízení musí držet předpisů, norem a stanovení, která jsou na jednotlivá strojní zařízení vydávána. S ohledem na legislativu dělíme normy do tříd A, B a C. Zjednodušeně lze říci, že čím vyšší třída, tím detailnější informace.

Třída A – jedná se o normy, které poskytují pouze základní pojmy a zásady. Těmi se musí řídit projektant a konstruktér, jedná se pouze o obecná hlediska pro aplikaci na veškeré stroje. [1]

Třída B – tyto normy řeší pouze jeden bezpečnostní aspekt nebo jeden typ bezpečnostního zařízení. Normy lze aplikovat na širokou škálu strojů. Třidu pak následně rozdělíme na B1, ta se zabývá jednotlivými bezpečnostními aspekty (bezpečné vzdálenosti, hluk nebo teplotu povrchu) a B2 ta je zaměřena na bezpečnostní zařízení (například dvouruční ovládání). [1]

Třída C – jedná se o tzv. speciální bezpečnostní normy, zabývající se detailními bezpečnostními požadavky pro jednotlivá strojní zařízení nebo pro skupinu strojů stejného typu (například lis). [1]

Při samotném návrhu strojního zařízení se musí projektant a konstruktér dále řídit nařízeními organizace, která si je sama určuje. Proto je před návrhem vhodné navštívit organizaci, kde má být zařízení instalováno a zjistit veškeré podrobné doplňující informace, které mohou návrh strojního zařízení ovlivnit.

1.2. Základní pojmy

Abychom mohli bezpečně analyzovat rizika, je důležité znát základní pojmy a definice, které nám pomohou s analýzou a pochopením odborných názvů či pojmenování. V normě ČSN EN ISO 12 100 se nachází samostatná kapitola, která se věnuje výčtem jednotlivých termínů a definicí spojených s bezpečností strojních zařízení a analýzou rizik. Uvádím pouze základní a pro nás důležité pojmy a definice.

Strojní zařízení – jedná se o zařízení, které je složeno z pohánecího systému na jedné straně, na straně druhé je poháněná část. Tyto části jsou vzájemně spojeny za účelem, který je přesně stanoven. Účel použití udává výrobce strojního zařízení. [3]

Neúplné strojní zařízení – jde o systém, který je téměř strojním zařízením, ale sám od sebe nemůže plnit danou funkci, ke které je určen. Může se jednat o pohánecí systém, určený k zabudování do jiného strojního zařízení. Dále zde můžeme zařadit roboty, ti nemohou plnit žádnou funkci, pokud neobsahují řídicí a ovládací část.

Mezi strojní zařízení nepatří nové bezpečnostní součásti, které jsou dodány společně se strojem a slouží jako náhradní díly. Díly dodává výrobce strojního zařízení, musí být totožné jako originální díly – nelze použít novější model součástí. Mezi strojní zařízení dále nepatří domácí spotřebiče, auta, kolotoče v zábavních parcích, lodě, elektrárny a tanky. [3]

Riziko – kombinace pravděpodobnosti výskytu úrazu a závažnosti tohoto úrazu. [1]

Zbytkové riziko – riziko, které zůstává i po použití ochranných opatření. [1]

Odpovídající snížení rizika – snížení rizika, které odpovídá zákonným požadavkům. [1]

Spolehlivost – schopnost stroje, nebo jeho součásti nebo jeho vybavení vykonávat v daném časovém období a za specifikovaných podmínek požadovanou funkci bez poruchy. [1]

Nebezpečí – potenciální zdroj úrazu.

U nebezpečí dále definujeme relevantní nebezpečí a významné nebezpečí. [1]

Nebezpečná událost – událost, která může způsobit úraz. [1]

Odhad rizika – jedná se o závažnost úrazu a pravděpodobnost jeho výskytu. [1]

Analýza rizika – jde o kombinaci specifikace mezních hodnot stroje, identifikace nebezpečí a odhadu rizika. [1]

Norma ČSN EN ISO 12 100 dále udává samotný proces snižování rizika z hlediska konstruktéra strojního zařízení, požadavky na ovládací bezpečnostní prvky, konstrukční prvky a další.

1.3. Význam bezpečnosti strojních zařízení

Na bezpečnost strojů, strojních zařízení a řídicích systémů je dnes celosvětově kladen velký důraz. Se zvyšujícím se počtem zařízení, která lidé obsluhují, roste také počet rizik, kterým jsou nejen obsluhující osoby vystaveny. Pro omezení rizik se zavádí automatizace a opatření, která mají zabránit škodám na majetku a lidském zdraví. Úlohou je tedy zamezit kontaktu nebezpečné části strojního zařízení s lidským tělem tak, aby nedocházelo k úrazům. Aby mohla být rizika omezována, musí být nejprve posouzena a analyzována. Základem při návrhu strojních zařízení je dodržování platných norem a předpisů, tak aby byly stroje bezpečné během jejich celého životního cyklu při běžném využívání, od výroby až po likvidaci.

Cílem jednotlivých opatření je maximálně minimalizovat rizika, a to již od samotného návrhu a projektování strojního zařízení, z toho vyplývá, že hlavní část o určení, zdali bude stroj bezpečný, či nikoli určuje projektant při samotném návrhu stroje. Projektant by se měl snažit rizika minimalizovat, a to na základě svých zkušeností, prohlídky místa instalace strojního zařízení, popřípadě získáváním informací od obsluhy podobných strojních zařízení.

Základním předpokladem je použití vhodných materiálů a jejich tvarů na nosné i funkční prvky. Jde o zaoblování a minimalizaci rohů, stran, otvorů, hran a hrotů, dále pak použití vhodných krytů ať už pevných nebo pohyblivých. Následná minimalizace rizik spočívá v použití elektronických prostředků, jako jsou čidla, elektronické zámky, světelné závory, hlídače přítomnosti osob a cizích předmětů a jiných bezpečnostních prvků. Pro dodatečné snížení rizika musíme obsluze zajistit použití vhodných pracovních pomůcek, zajištění vhodného pracovního prostředí doplněného o bezpečnostní tabulky, školení a kontroly. Je důležité si uvědomit, že i při sebe lepší analýze rizika, a použití vhodných prostředků pro jeho omezení, nikdy nedosáhneme nulového rizika a tím plně bezpečné technologie.

Při návrhu a následném provozu bezpečnostního systému strojního zařízení je nutné zajistit, aby bezpečnostní systém pracoval za všech okolností, které lze předvídat. Je tedy nutné zajistit ochranu systému polohou, aby nemohlo dojít k jeho poškození. Pro plynulý provoz bezpečnostního systému je vhodné volit napájení ze zálohovaného zdroje, aby nedošlo k odstavení bezpečnostní části zařízení při výpadku nezálohovaného napájení, a tím vystavení obsluhy riziku, které by mohlo vést k úrazu. K zajištění plynulého chodu bezpečnostního systému je nutné dodržovat stanovené termíny kontrol údržby a revizí. Tyto termíny jsou udávány výrobcem, popřípadě provozovatelem systému. [3]

2. Posouzení, analýza a snižování rizik

Abychom mohli rizika snížit, nejprve je musíme posoudit a analyzovat. Posouzení rizika vychází z normy ČSN EN ISO 13 849-1 respektive ČSN EN 62061 a stanovuje úroveň vlastností PL v kategorii a až e, respektive SIL v kategorii 1 až 3. Mezi PL a SIL existuje převodní tabulka. Můžeme říci, že čím vyšší riziko, tím vyšší jsou požadavky na řídicí systém. PL udává schopnost systému plnit bezpečnostní funkce za předvídatelných podmínek. Při posuzování se setkáváme s PL_r , jedná se o požadovanou hodnotu PL, kterou musí systém splňovat. [2]

Tabulka 1 – Převodní tabulka PL na SIL [2]

PL	SIL
a	-
b	1
c	1
d	2
e	3

Průběh stanovení PL_r je znázorněno na obrázku 1. Při stanovování vycházíme ze tří parametrů. Jedná se o parametry:

S – určuje závažnost zranění

S1 – lehké

S2 – vážné

F – vnáší četnost vystavení se nebezpečí

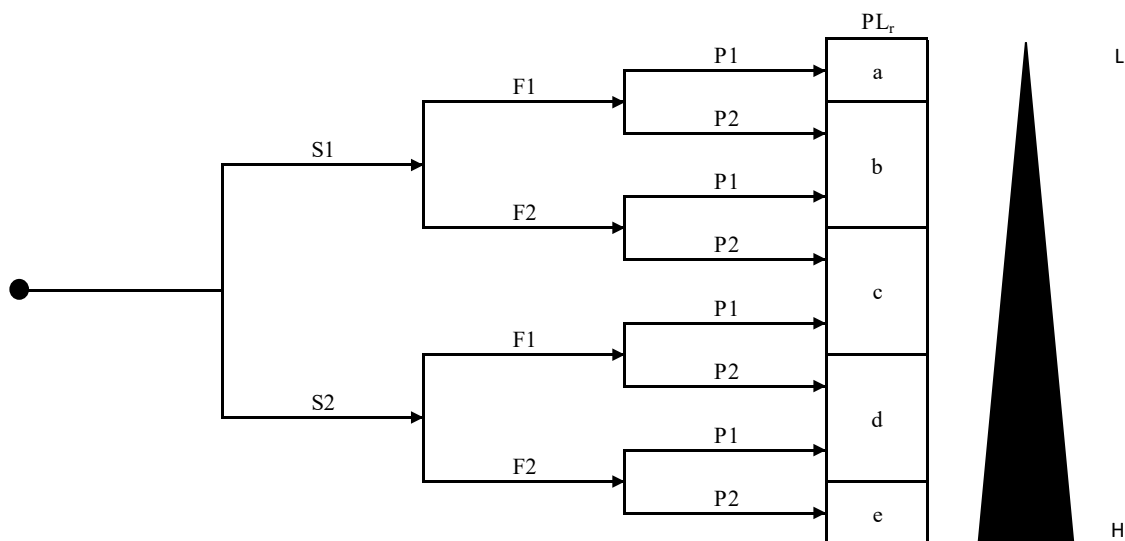
F1 – málokdy nebo krátce (max. 20 % z provozní doby, ne častěji než 1 x 15 min.)

F2 – nepřetržitě nebo dlouho (častěji než 1 x 15 min.)

P – udává možnost vyloučení nebezpečí nebo omezení škod

P1 – možné

P2 – sotva možné



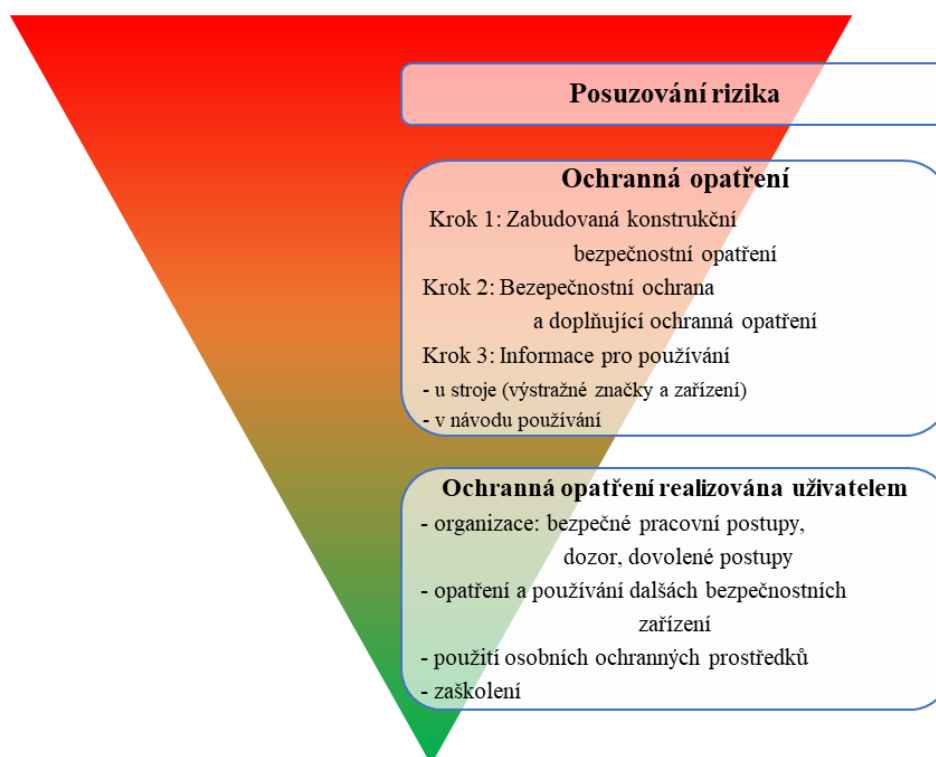
Obrázek 1 – Graf pro určení požadované PL_r pro bezpečnostní funkci [2]

Musíme si ovšem uvědomit, že stanovování PL_r je pouze subjektivní záležitost a v praxi je často vyžadováno, aby stanovení neprováděla pouze jedna osoba, aby každý ze zúčastněných vnesl do problematiky svůj názor a pohled na věc. To, co určí jedna osoba, nemusí určit osoba druhá.

Po určení PL_r můžeme přiřadit výsledku kategorii. Jedná se o kategorie B, 1, 2, 3 a 4. Návaznost těchto kategorií na ovládací systém se nachází v tabulce 3.

Proces snižování rizika dělíme do tří hlavních částí a to: posouzení rizika, ochranná opatření a ochranná opatření realizována uživatelem. Posouzení rizika provádí projektant či konstruktér strojního zařízení. Prvotní snížení rizika provádíme využitím konstrukčních prvků. Pokud i nadále je riziko příliš vysoké, musíme volit další ochranná opatření, například využití bezpečnostní ochrany, dokud riziko neklesne na míru rizika, kterou můžeme akceptovat. Snížení rizika dále provádí dodavatel strojního zařízení tím, že uvede bezpečné pracovní postupy, dodá návod na použití a popřípadě určí ochranné pomůcky. Následně provádíme ochranná opatření taková, abychom zbylá rizika dokázali minimalizovat a upozornit na ně. Tyto opatření provádíme společně s provozovatelem strojního zařízení, používáme vhodné doplňkové výstražné tabulky u samotného stroje a proškolení personálu.

Mezi ochranná opatření patří použití ochranných krytů a konstrukčních prvků, bezpečnostní ochrana – využívá elektronické zařízení, které monitorují chod stroje a vyhodnocují nedovolené stavy. Dále zde patří informace týkající se použití. Poslední krok ke snížení rizik provádí organizace, kde je strojní zařízení využíváno. [1]



Obrázek 2 - Proces snižování rizika [1]

2.1. Snížení rizika – konstrukční prvky

Při návrhu strojního zařízení konstruktérem a projektantem provádíme omezení rizik konstrukcí a polohou samotného zařízení. Mezi konstrukční prvky patří zejména ochranné kryty a zábrany. Ne vždy dokážeme plně eliminovat rizika strojního zařízení pouze jeho konstrukcí, a tak přichází v úvahu využití ochranných krytů. Kryty patří mezi nejlevnější variantu, jak zabránit kontaktu osob s nebezpečným prostorem. Tyto kryty by měly být navrženy a připevněny tak, aby jejich demontáž byla, co nejméně snadná a aby to nedokázal laik bez využití náradí.

Mezi hlavní požadavky na ochranné kryty patří: robustnost, pevné upevnění, nesmí být snadno odnímatelné, nesmí způsobovat jiná rizika, musí být umístěná v rozumné míře od samotného rizika, nesmí bránit ve výhledu na výrobní proces, pro jejich odstranění musí být využito náradí, po jejich uvolnění přídržnými šrouby nesmí zůstat samovolně na svém místě. Ochranná zařízení musí být zabudována tak aby: pohyblivé části nemohly být spuštěny, pokud jsou v dosahu obsluhy, osoby se nemohly dotknout pohyblivých částí, pokud je již stroj zapnut, stroj nemůže být zapnut i při absenci jediného krytu, který odděluje osoby od pohyblivých částí. Pokud dochází k seřízení ochranných částí, musí to být provedeno tak, aby to bylo provedeno pouze úmyslným úkonem. [3]

2.2. Snížení rizika – bezpečnostní ochrana

Jen u části strojních zařízení jsme schopni veškerá rizika minimalizovat využitím konstrukčních prvků natolik, abychom mohli stroj prohlásit za bezpečný. Pro další snížení rizika jsou dnes ve velkém využívány elektronická zařízení. Jedná se o plně automatické nebo poloautomatické systémy s logickým řízením, tak aby obsluha musela co nejméně zasahovat do chodu celého systému, a zároveň byla, co nejvíce chráněna před zbylými riziky. Musíme si uvědomit, že automatický chod chce provozovatel zajistit nejen s ohledem na bezpečnost obsluhy a vyskytujících se osob, ale i s ohledem na plynulý chod celého strojního zařízení, a tím snížení provozních nákladů, a naopak zvýšením produkce celého systému.

U řídicího systému je kladen důraz na spolehlivost. Pro zajištění bezpečného chodu využíváme bezpečnostních řídicích jednotek obsahující bezpečnostní řídicí systémy, k jednotkám jsou připojovány bezpečnostní vstupy a výstupy. Bezpečnostním řídicím systémem nejčastěji rozumíme využití speciálních programovatelných jednotek PLC. Na vstupy připojujeme bezpečnostní komponenty, například stop tlačítka, světelné závory, indukční snímače, elektronické bezpečnostní zámky, nášlapné rohože, laserové skenery a další.

Důležitým aspektem ukazujícím spolehlivost použitých bezpečnostních prvků je MTTF (Mean Time To Failure) – jedná se o střední dobu do poruchy, tato hodnota se počítá během života a určuje ji výrobce bezpečnostních komponentů. Další důležitou hodnotou je MTTF_D (Mean time to dangerous failure) – střední doba do nebezpečné poruchy. Tyto hodnoty se udávají v letech. Jedná se o časovou hodnotu každého kanálu při použití více kanálového systému.

Části ovládacích systémů, které jsou určeny k plnění bezpečnostních funkcí jsou nazývány bezpečnostní části ovládacích systémů (SRP/CS). Jedná se o software a hardware, ten je buď součástí ovládacího systému nebo se nachází odděleně. [2]

U stanovení PL pro SRP/CS specifikujeme následující podskupiny:

První skupinou jsou kategorie ovládacích částí, a to B, 1, 2, 3 a 4. Chování systému v jednotlivých kategoriích uvádím v tabulce číslo 3.

Druhou skupinou je $MTTF_D$ pro ovládací části. Hodnoty $MTTF_D$ udávají výrobci v dokumentech k bezpečnostním komponentům, ale i ke komponentům, které samy o sobě bezpečnostními nejsou a svou roli v systému bezpečnosti dostávají – například pneumatické prvky. Pokud hodnotu $MTTF_D$ výrobce u komponentu neudává, můžeme si vypomocť hodnotou B_{10D} – tato hodnota udává počet cyklů do 10 % nebezpečných selhání součástí. Hodnoty jsou, jak pro součástky elektromechanické, tak i pneumatické. Hodnotu $MTTF_D$ můžeme odhadnout ze vztahu:

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \cdot n_{op}} \quad (1.1)$$

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \cdot d_{op} \cdot h_{op} \cdot C} \quad (1.2)$$

Kde:

- B_{10D} = počet pracovních cyklů
- d_{op} = dny / rok (počet využitých dnů za rok)
- h_{op} = h / den (počet využitých hodin za den)
- C = x / h (počet cyklů za hodinu)

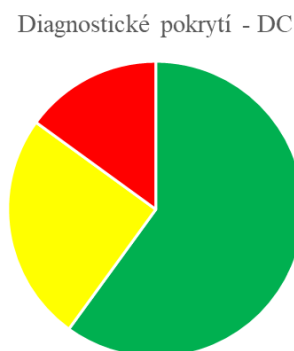
Třetí skupinu při návrhu bezpečnostního ovládacího systému tvoří diagnostika. Jejím cílem je detekovat převážně nebezpečné poruchy. Výsledek DC se skládá z poměru detekovaných nebezpečných poruch k součtu detekovaných nebezpečných poruch a nedetekovaných nebezpečných poruch. Dále se setkáváme s DC_{avg} , jde se o průměrné diagnostické pokrytí. Diagnostické pokrytí kategorizujeme do 4 úrovní. Přehled úrovní je v tabulce 2, ta vychází z normy ČSN EN ISO 13 849-1. V této normě se nachází taktéž tabulka, která usnadní převod mezi kategoriemi / DC_{avg} / $MTTF_D$. Jedná se o tabulku zjednodušeného postupu pro hodnocení PL dosažené pomocí SRP/SC.

Tabulka 2 - Míra diagnostického pokrytí [2]

DC	
Označení	Rozsah
Žádné	$DC < 60 \%$
Nízké	$60 \% \leq DC < 90 \%$
Střední	$90 \% \leq DC < 99 \%$
Vysoké	$99 \% \leq DC$

λ_{dd} – nedetekované nebezpečné poruchy

λ_{dd} – detekované nebezpečné poruchy



Obrázek 3 - Diagnostické pokrytí DC – zastoupení jednotlivých poruch [3]

Předposlední, **čtvrtou skupinou**, jsou poruchy se společnou příčinou (CCF). Definujeme je následovně: „*Poruchy způsobené současnými poruchami dvou nebo více oddělených kanálů ve více kanálovém subsystému*“. Norma ČSN EN ISO 13 849-1 uvádí tabulku, kterou by projektant nebo konstruktér měl vyplnit, ta mu určí, zdali jsou zapotřebí další opatření, či nikoli. V tabulce se nachází 8 bodovaných položek, hodnotitel dosahuje 0 až 100 bodů. Hodnocení probíhá v kritériích: oddělení; diverzita; konstrukce / použití / zkušenosti; posouzení / analýza; způsobilost / zácvik; prostředí. Pokud při hodnocení dosáhneme 65 bodů a více, požadavky na CCF jsou splněny, pokud dosáhne méně než 65, musíme volit další opatření.

Poslední, **pátou skupinu**, tvoří ověření neboli verifikace. Zjišťuje, jestli snížení rizika proběhlo dostatečně. Pokud ověření nevyhovuje, musíme hledat další prostředky pro další snížení rizika, popřípadě využití jiných komponentů. Pokud ověření PL proběhlo v pořádku, riziko kleslo na míru, kterou můžeme akceptovat, ovládací bezpečnostní systém plní svou funkci. Hlavní roli hraje využitý software, který je navržen. Ten musí být schopen správně zpracovat a vyhodnotit veškeré signály z bezpečnostních vstupů a snímačů. Po zpracování všech vstupů a realizaci bezpečnostních funkcí jsou následně signály odesílány na bezpečnostní výstupy. Správná funkce musí být zajištěna během celého životního cyklu. Návrh vychází z takzvaného V modelu, který obsahuje specifikaci bezpečnostního softwaru, návrh systému, návrh modulu, kódování, zkoušky modulu, zkoušku integrity a platnost. Tento model najdeme opět v normě ČSN EN ISO 13 849-1. [3]

Tabulka 3 - Kategorie pro SRP/CS a chování systému v případě závad [2]

Kategorie	Chování systému	MTTF _D každého kanálu	DC _{avg}
B	Výskyt závady může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce.	Krátká až střední	Žádné
1	Výskyt závady může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce, ale pravděpodobnost výskytu je menší než v kategorii B.	Dlouhá	Žádné
2	Výskyt závady může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce mezi kontrolami. Ztáta je detekována kontrolou.	Krátká až dlouhá	Nízké až střední
3	Při výskytu jednotlivé závady, bezpečnostní funkce je vždy zachována. Ne všechny závady jsou detekovány. Nedetekované závady mohou vést ke ztrátě bezpečnostní funkce.	Krátká až dlouhá	Nízké až střední
4	Při výskytu jednotlivé závady, bezpečnostní funkce je vždy zachována. Detekce nahromaděných závad snižuje pravděpodobnost ztráty bezpečnostní funkce. Závady jsou detekovány včas.	Dlouhá	Vysoké, včetně nahromadění závad

2.3. Snížení rizika – dodatková ochrana

Použitím vhodných konstrukčních prvků a bezpečnostní ochrany dokážeme snížit riziko na takovou úroveň, kterou dokážeme akceptovat. Je nutné si uvědomit, že riziko nemůžeme zcela eliminovat, a tak přichází na řadu snižování rizika dodatkovou ochranou. Dodatkovou ochranu částečně provádí výrobce a dodavatel strojního zařízení, který je povinen dodat manuál ke stroji, dále dodává správné pracovní postupy. Se správnými pracovními postupy je povinen provozovatel seznámit obsluhu, provést jejich proškolení na začátku, a následně v pravidelných intervalech provádět kontrolu. Okolí stroje by mělo být vybaveno vhodnými doplňkovými bezpečnostními výstražnými tabulkami upozorňující na zbylá rizika. Provozovatel stroje je dále povinen vybavit obsluhu vhodnými osobními ochrannými pracovními pomůckami, kterými jsou pracovní oblečení, obuv, rukavice, bezpečnostní brýle nebo štít, popřípadě ochranou sluchu. Obsluha a osoby pohybující se v okolí strojního zařízení jsou povinny se chovat tak, aby svým chováním nevystavovali sebe ani ostatní osoby dalším rizikům a nebezpečím.

[1]

3. Návrh bezpečnostní části ovládacího systému

Pro návrh bezpečnostní části ovládacího systému jsem si zvolil technologický proces, který je rozdělen do dvou částí. Proces se nachází v potravinářském průmyslu, jedná se o linku na zpracování kusové zeleniny, plnění do sklenic a následné balení. Bezpečnostní část je tvořena jedním celkem, který je rozdělen do dvou částí, tak aby obě části technologie mohly pracovat odděleně. Následně provádím návrh 2 výukových panelů, kde jsou demonstrovány bezpečnostní části ovládacího systému pro obě části technologie.

3.1. Popis navrhované technologie

První část technologie slouží pro zpracování, porcování, plnění a balení zeleniny do sklenic. Jedná se o malou výrobní linku. Hlavním požadavkem je její plná automatickost, tak aby obsluha pouze zajišťovala na začátku linky dostatečný přísun suroviny a sklenic pro plnění, na druhém konci již mohla odebírat naplněné a zašroubované sklenice. Na začátku této linky se nachází zásobník, který obsluha ručně plní z předem připravených přepravek již očištěné kusové zeleniny. Přepravky obsluha vyprázdní do nerezového zásobníku, na jehož dně se nachází šnekový podavač, který zeleninu dopravuje ke struhadlu. Struhadlo zeleninu rozmělní na požadovanou velikost, ta je následně dopravená k druhému nerezovému zásobníku. Zde se tvoří zásoba zpracované zeleniny pro následné plnění do sklenic. Zásobník má na svém dně umístěnou měрку s váhou pro zajištění naplnění všech sklenic stejným množstvím. Sklenice jsou dopravovány pod zásobník pomocí robotického podavače. Podavač odebírá sklenice ze zásobníku a přemísťuje je do prostoru plnění zeleninou. Sklenice je naplněna zeleninou a potřebným lákem. Takto naplněná sklenice zeleninou je po krátkém dopravníku přivedena do prostoru, kde dochází k osazení a zašroubování víčka. Jakmile jsou sklenice naplněné a zašroubované, pásový podavač dopraví sklenice do prostoru, kde je odebírá obsluha. Ta je následně ukládá do připravených pojízdných regálů. Jakmile je regál zcela plný, obsluha odváží regály do místnosti, kde dochází ke sterilizaci naplněných sklenic. Po ukončení sterilizace a vychladnutí odváží obsluha sklenice k druhé části výrobní linky.

Druhá část technologie slouží pro olepení sklenic etiketami, vyskládání do bedny a následného balení pro snazší přepravu. Obsluha vyndává sklenice z pojízdných regálů do šikmých zásobníků představujících skluzavky s mantinely. Sklenice po rampě postupně sjíždějí dolů, podávací mechanismus sklenice po jedné odebírá a dopravuje do prostoru který je vyhrazen pro lepení etiket na sklenice a vrch víček. Ještě, než dojde k opuštění vymezeného prostoru, raznice natiskne na etiketu víčka údaje týkající se data minimální trvanlivosti. Hotový výrobek putuje po dopravníkovém pásu do prostoru, kde dochází k hromadění sklenic. Obsluha je postupně odebírá, ukládá do papírových krabic. Jakmile je krabice plná, obsluha ji po lince posílá dále. Naplněná krabice sklenicemi vjíždí do tunelu, zde se na bednu navlékne polyethylenová fólie, a následně tepelným účinkem dochází k jejímu smrštění, tím je zajištěna kompaktnost bedny pro snazší manipulaci a přepravu. Takto zabalená bedna sklenic vyjíždí z tunelu, po dopravníkovém pásu putuje na konec linky, zde je obsluha odebírá a rovná na palety.

3.2. Určení rizik technologie

Během chodu strojního zařízení může dojít ke stavům, kdy je ohroženo lidské zdraví. Pro minimalizaci úrazů, je nutné rizika posoudit, analyzovat a navrhnout taková opatření, aby k ohrožení lidského zdraví docházelo co nejméně. Při návrhu vycházím ze stavu, kdy, již byla provedena konstrukční opatření pro snížení rizik, nyní provádím snižování rizik pomocí bezpečnostní techniky. Rizika určuji od začátku technologického celku po jeho konec.

Riziko 1

První riziko určuji, když obsluha plní zásobník očištěnou kusovou zeleninou z přepravek. Konstrukčně je zásobník navržen tak, aby obsluha do zásobníku nemohla přepadnout, zároveň je navržen tak, aby obsluha při plnění zásobníku nemusela vykonávat příliš velkou námahu. Hmotnost bedýnek se pohybuje v rozmezí 4 až 6 kilogramů. Hrana zásobníku se nachází ve výšce 125 cm od úrovně podlahy. Při neopatrném pohybu může dojít ke ztrátě rovnováhy obsluhy a následnému přepadnutí na hranu zásobníku. Pokud by obsluha takto padla na hranu zásobníku, může dojít ke strčení prstů ruky do šnekového podavače, který je umístěn na dně zásobníku, a tím k úrazu ruky. Dále může dojít k pohmoždění těla obsluhy při pádu na hranu, to už ale není riziko způsobené rotující částí strojního zařízení.

Riziko 2

Další riziko vzniká při údržbě a čištění strojního zařízení během pracovní doby. Jelikož je zpracovávána syrová zelenina příliš tvrdá, může docházet k usazování kousků zeleniny a zanášení pohyblivých částí stroje, při zanesení částí stroje může dojít k poškození technologie. Obsluha je povinna provádět v předem stanovených intervalech kontrolu pohyblivých a rizikových částí zařízení, kde může docházet k usazování sedimentu. Pokud je zapotřebí, musí obsluha přivolat technika a ten provede výměnu nožů struhadel. Před započítím kontroly musí obsluha zařízení vypnout a otevřít příslušná dvířka, která oddělují nebezpečný prostor. Pokud by stav otevření dvířek nebyl monitorován a zároveň by došlo k uvedení zařízení do provozu během kontroly, nejen že může dojít k poškození technologie, ale i k újmě na lidském zdraví. Obsluha může být pořezána, skřípnuta, v horším případě může dojít k amputaci části prstů nebo ruky.

Riziko 3

Třetí vznikající riziko, kterému může být obsluha vystavena vzniká při samotném chodu strojního zařízení. Jedná se o riziko spojené s robotem, který odebírá sklenice ze zásobníku a stará se o jejich přísun do prostoru, kde dochází k plnění sklenic zeleninou a lákem. Podavač se otáčí kolem své osy, pokud by se v nebezpečném prostoru nacházela obsluha či jiná osoba, v lepším případě může dojít jen k udeření dotyčného, v horším případě ke skřípnutí osoby. Zde již hrozí zlomení ruky, či její pohmoždění. Z hlediska konstrukce je robot oddělen polohou, nachází se na místě, kde by se obsluha neměla pohybovat, ale pokud obsluha nebude dbát nařízení a zákazů vystavuje se vzniklému riziku.

Riziko 4

Druhé riziko spojené se samotným chodem strojního zařízení určuji při plnění sklenic a následnému nasazování víček. Po pádu víčka z podavače při nasazování na sklenici, musí obsluha technologii zastavit, spadlé víčko odebrat a následně uvést technologii zpět do provozu. Pokud by při této operaci došlo ke spuštění strojního zařízení, obsluha je vystavena riziku skřípnutí prstů strojem, jehož cílem je víčko správně nasadit, zašroubovat a dotáhnout. Konstrukčně je tato část vyřešena tak, aby v případě zásahu měla obsluha, co nejsnazší přístup k víčkovacímu prostoru, ale aby při běžném provozu nebyla nijak ohrožena a vystavena riziku.

Riziko 5

Nyní se s určením rizik přesouvám na druhou část technologie. Tak jako u rizika 3, i zde je občas nutný zásah obsluhy, konkrétně na zařízení, starající se o lepení etiket na sklenice. Pokud dojde ke spadnutí etikety je obsluha povinná technologii zastavit, etiketu odebrat a popřípadě očistit pohyblivé části znečištěné od lepidla. Pokud by došlo ke spuštění stroje při tomto úkonu, nebo by obsluha nedbala příkazu zařízení zastavit a snažila se odstranit etiketu za chodu, může dojít k úrazu ruky. Obsluha je v takovém případě vystavena nebezpečí popálení horkým lepidlem, které se na sklenice nanáší, popřípadě skřípnutí a zlomení prstů od pohyblivé části, starající se o lepení a tisknutí etikety na sklenice. Rotující a pohyblivé části jsou částečně konstrukčně odděleny za pevnou zábranou. Musí zde být zachován dostatečný prostor pro přístup obsluhy v případě zásahu.

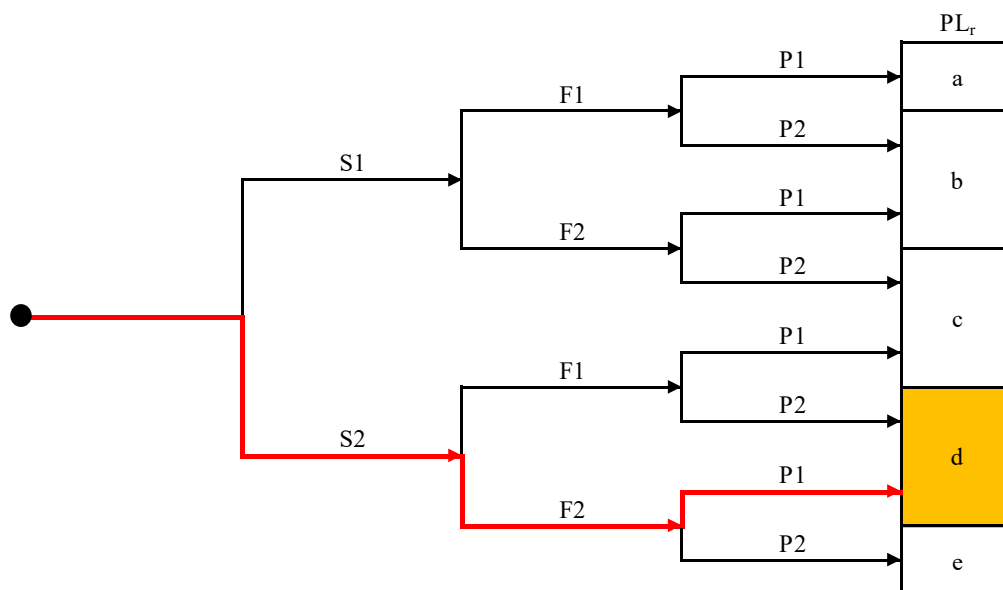
Riziko 6

Poslední vznikající riziko určuji při balení krabic do fólií. Jde o tunel, do kterého naplněná krabice vjíždí nezabalená a na konci vyjíždí zatavená do plastové fólie. Tunel je osazen servisními dvířky. Tavení fólie probíhá krátkodobě za vysoké teploty, a proto musí být vzniklé horké výpary odsávány. Pokud by obsluha tato dvířka otevřela v průběhu tavení fólie, může dojít k úrazu popálení vlivem horkých par nebo jinou teplou částí v tunelu. Při expanzi teplého vzduchu a špatně dovřených dvířek, může taktéž dojít k jejich vymrštění a zásahu obsluhy.

3.3. Určení PL_r jednotlivých rizik a návrh pro snížení rizika

Při určování PL_r postupuji dle obrázku 1, na kterém je znázorněn postup. Určuji parametry S, F a P dle svého subjektivního uvážení. U jednotlivých rizik postup určování znázorňuji v grafu a zdůvodňuji, jak jsem k danému výsledku dospěl. Při hodnocení беру v úvahu důraz na minimalizaci veškerých úrazů, kterým může být obsluha a přítomné osoby vystaveny. U jednotlivých rizik následně navrhuji využití vhodných bezpečnostních komponent ovládací části pro snížení rizik.

Hodnocení rizika 1

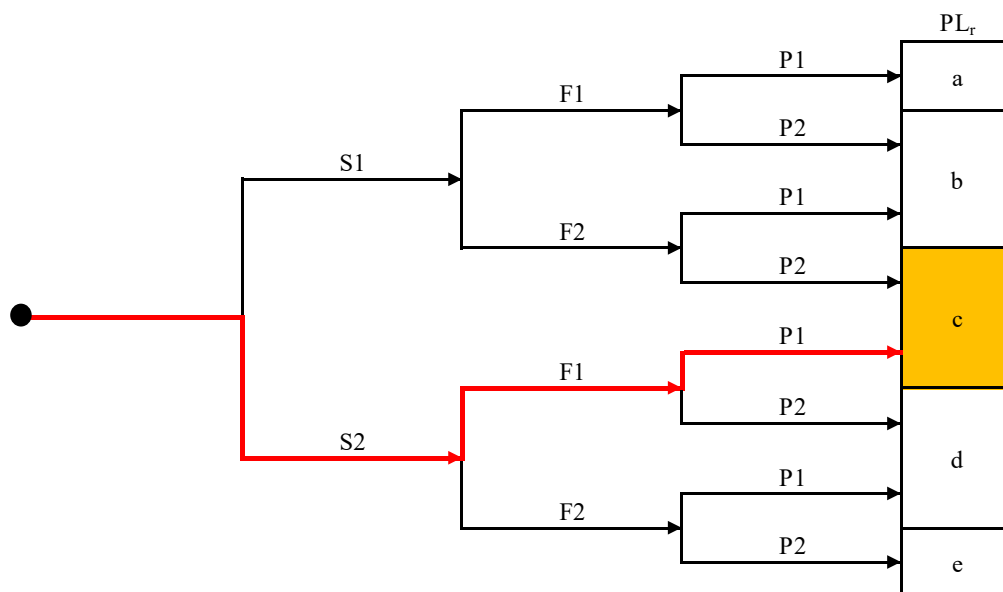


Obrázek 4 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 1

U vyhodnocování prvního rizika beru v úvahu, že úraz, který může být obsluze způsoben bude závažného charakteru. Při kontaktu prstů či ruky obsluhy se šnekovým podavačem na dně zásobníku, může dojít k pohmoždění, zlomení v horším případě i amputaci prstů. Pro závažnost zranění volím parametr S2. Pro četnost nebo vystavení nebezpečí volím parametr F2. Vycházím z faktu, že obsluha je povinná doplňovat zásobník častěji více než 1x za 15 minut. Obsluha plní zásobník v intervalech, aby zajistila kontinuální přísun suroviny. U posouzení možnosti vyloučení nebezpečí nebo omezení škody navazuji na konstrukční opatření realizována již při samotném návrhu konstrukce. Zásobník je konstruován tak, aby při běžném provozu nemohlo dojít k přepadnutí přes hranu obsluhy do zásobníku za předvídatelných podmínek, a předpokladu že se obsluha plně soustředí na práci. Proto tedy volím parametr P1 – obsluha se může vyhnout vznikajícímu riziku. Po vyhodnocení se dostávám na PL_r d.

Pro eliminaci rizika využitím bezpečnostních komponentů je několik možností. První spočívá ve využití dodatkového víka, s kontaktem hlídající zavření poklopu. Obsluha by musela při každém dosypávání zeleniny podavač vypnout, dosypat surovinu a následně zapnout, tohle opatření ale zařízení činí méně efektivním ve finální produkci vzniklými prodlevami. Jako druhou možnost pro eliminaci rizika shledávám variantu využití světelné závory, z důvodu že je k zásobníku přístup ze tří stran, musely by se dodatečně udělat konstrukční opatření ve smyslu zábran, aby k zásobníku byl přístup pouze z jedné strany. Tohle opatření může komplikovalo výhled obsluhy na technologii a tím docházet ke snižování produkce. Obsluha by musela linku zastavit při každém plnění. U plnění zásobníku surovinami za chodu obsluha protíná paprsky světelné závory, dochází k vyhodnocení nebezpečného stavu a následnému vypnutí linky. Světelná závora může být vybavena automatickým restartem, to ale nese vyšší vstupní náklady na pořizované bezpečnostní komponenty. Jako vhodné opatření proti vzniklému riziku volím použití hrany citlivé na tlak. Bez dalších konstrukčních úprav ji lze umístit po obvodu zásobníku. Při běžném plnění není obsluha nijak limitována. Pokud dojde k přepadnutí na hranu zásobníku, dochází k vybavení bezpečnostní funkce, řídicí jednotka tento stav registruje a dochází k zastavení technologie.

Hodnocení rizika 2



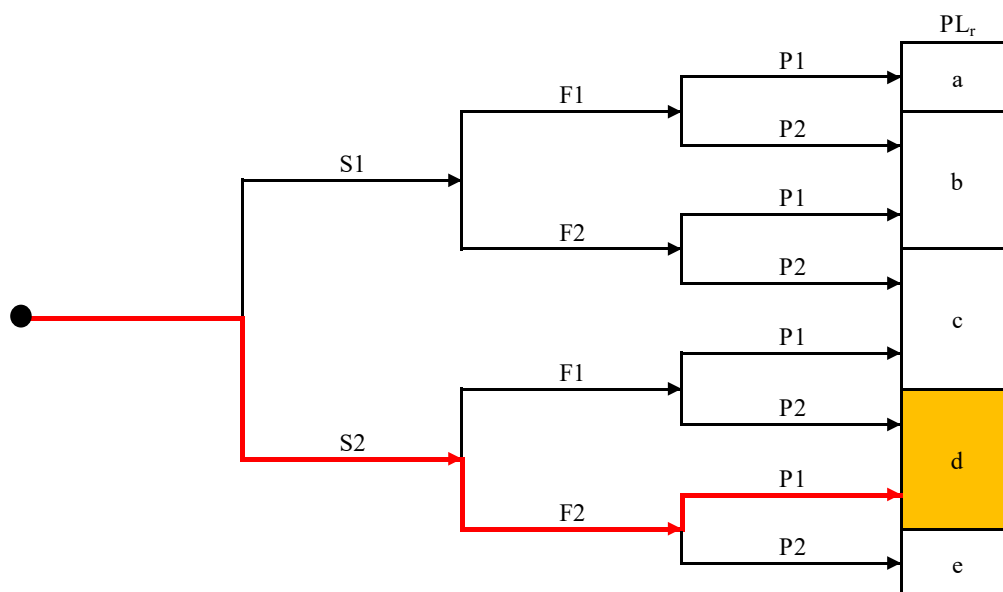
Obrázek 5 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 2

Tak jako u rizika 1, i zde určuji závažnost zranění S2. Pokud dojde k zapnutí technologie během čištění nebo kontroly, může tento stav vést ke zranění obsluhy. Jednalo by se buď o pořezání, pohmoždění, zlomení nebo amputaci prstů, popřípadě ruky osoby, která kontrolu provádí. Z tohoto hlediska volím závažnost zranění jako závažné. Četnost vystavení riziku není časté, jelikož kontrola strojního zařízení je plánována každé 4 hodiny. To znamená že kontrola sedlin a ostroty nožů provede obsluha v půlce pracovní doby, konečná kontrola a důkladné čištění probíhá na konci pracovní doby. Z této skutečnosti volím četnost vystavení nebezpečí na parametr F1, jelikož je obsluha během standardního provozu vystavena riziku pouze 2x za směnu. Posledním kritériem při určování je parametr pro možnost vyloučení nebezpečí. Ten volím na hodnotu P1, jelikož obsluha je povinná při veškerých úkonech spojených s údržbou tento stav vždy signalizovat. Po vyhodnocení určeného rizika, PL_r spadá na hodnotu c.

Eliminace rizika je již částečně provedena pomocí konstrukčních prvků, zejména se jedná o kryty a oddělení polohou nebezpečných částí. Zbýlé riziko eliminuji pomocí bezpečnostních komponentů. Hlavní roli zde představuje monitorování stavů, zdali jsou servisní dvířka na svých místech a řádně zavřená. Jedná se o řadu bezpečnostních kontaktů. V naší technologii využívám kontakty pracující na dvou principech. První bezpečnostní prvek pracuje na mechanické bázi, jde o mechanický kontakt skládající se ze dvou kusů, které do sebe zapadají. Druhý využitý typ kontaktu pracuje na bezkontaktní bázi, skládá se z části připojené do bezpečnostního obvodu, druhá část je tvořena magnetem.

Využitím kontaktů hlídajících servisní dvířka zajistím, že během servisních operací vykonávajících obsluhou v nebezpečném prostoru nedojde ke spuštění technologie a následnému úrazu obsluhy. Pokud dojde k otevření dvířek během chodu, linka se zastaví. Kontakty je nutné umístit na veškerá dvířka, která může obsluha otevřít nejen během kontroly, ale i chodu a za kterými se nachází nebezpečný prostor, čímž by se obsluha vystavila riziku úrazu. Pro snížení cenové náročnosti těchto opatření je dobré dvířka, které nemá obsluha otevírat, zabezpečit zámkem. Klíče k těmto zámkům bude mít pouze servisní technik.

Hodnocení rizika 3



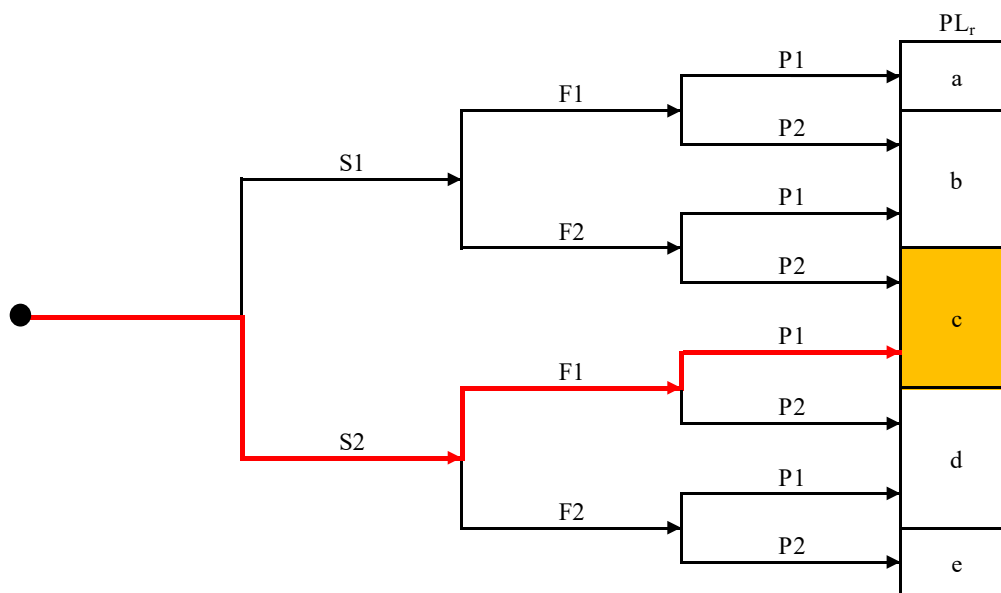
Obrázek 6 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 3

U 3 rizika může být obsluha udeřena podavačem, což by k závažnějšímu úrazu nevedlo. Pokud ale dojde k nedbalému chování obsluhy, přítomné osobě může být skřípnutá ruka u stroje, a tím dojít k pohmoždění, popřípadě zlomení ruky. Parametr pro závažnost zranění volím na S2. Četnost vystavení riziku by teoreticky měla být minimální, jelikož se robot nachází v prostoru, kde se obsluha za provozu nemusí vůbec pohybovat, lidský faktor ale nelze ovlivnit, a do nebezpečného prostoru se může dostat jak obsluha, tak jiný zaměstnanec. Z této úvahy volím parametr četnosti vystavení se riziku do skupiny F2. Jelikož prostor nemůžeme dostatečně zabezpečit konstrukčně ani polohou je nutno prostor kontrolovat. Možnost vyloučení nebezpečí je následně ve skupině P1. U celkového vyhodnocení, PL_r se dostává na hodnotu d.

Jako nejvhodnější opatření se zde nabízí využití konstrukční zábrany tak, aby vstupu do nebezpečného prostoru bylo zabráněno všem přítomným osobám pohybujících se v okolí stroje. Takovéto opatření v daném prostoru ale nelze udělat, musím tedy přistoupit k využití bezpečnostní techniky. Jednoduchou a relativně levnou možností se nabízí využití světelné závory. Pokud by osoba prošla světelnou závorou do nebezpečného prostoru, došlo by k zastavení linky. Světelná závora, ale neřeší situaci, kdy se osoba bude v nebezpečném prostoru nacházet již před samotným uvedením linky do provozu. Lepší volbou je využití takové bezpečnostní techniky, která monitoruje plochu prostoru, a nejen její vstup. Navrhuji využití laserového skeneru, který dokáže detekovat přítomnost osoby ve střeženém prostoru. U skeneru lze nastavit několik zón, podle vzdálenosti dokážeme nejprve signalizovat pohyb osoby ve výstražné zóně, pokud se osoba bude nacházet příliš blízko nebezpečnému prostoru, dostává se do takzvané zakázané oblasti a dochází k zastavení technologie. Jako doplněk nebo i samostatně můžeme využít rohoží citlivých na tlak. Pokud dojde ke vstupu osoby na nášlapnou rohož, dojde opět k zastavení technologie.

Pro demonstraci dostupných možností, využívám oba bezpečnostní prvky. Tímto eliminuji riziko úrazu způsobené vstupem osoby do zakázané oblasti robotického podavače.

Hodnocení rizika 4

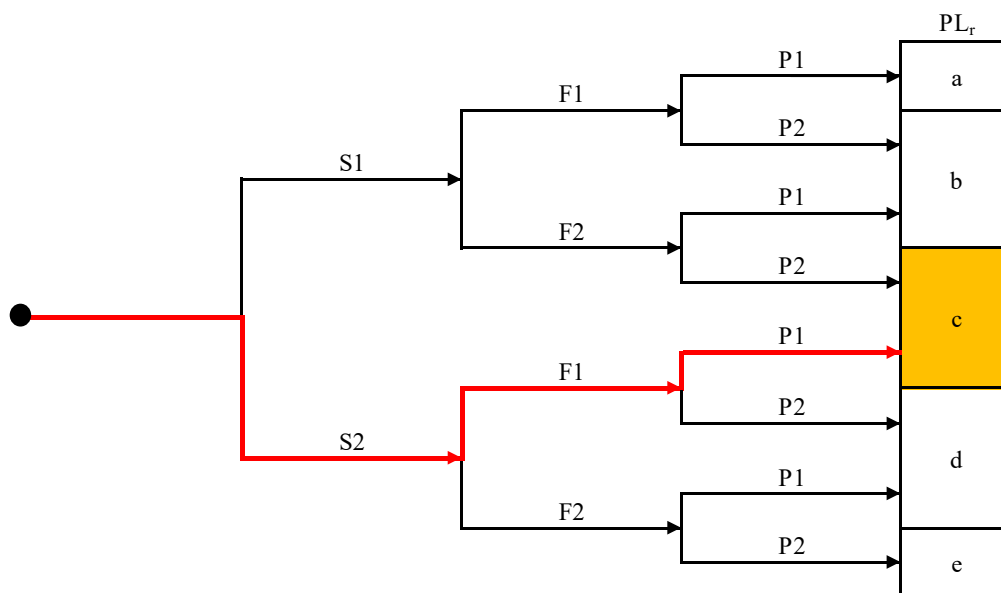


Obrázek 7 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 4

Při hodnocení rizika číslo 4 určíme parametr týkající se závažnosti zranění na hodnotu S2. Pokud dojde k netypickému stavu při nasazování víčka, například spadnutí a obsluha tuto skutečnost zaregistruje, je povinná strojní zařízení zastavit, víčko odebrat, aby nedošlo ke způsobení větší škody na technologii. Při nedbalosti ostatních členů obsluhy může dojít ke spuštění stroje a obsluha se bude nacházet v nebezpečném prostoru, může nastat pohmoždění či zlomení prstů nebo zápěstí obsluhy. Četnost vystavení riziku obsluhy není velká. Pokud budou dodržovány intervaly na čištění a kontrolu mechanismu podavače a šroubováku víček, tak aby přísavky a objímky na víčka nebyly znečištěné a měly dostatečnou sílu víčko správně a pevně uchytit. Během směny může dojít k upadnutí víčka jen zřídka, pokud by četnost byla větší, obsluha je povinná přivolat údržbu. Při této úvaze hodnotím četnost vystavení se nebezpečí na hodnotu F1. Parametr, který určuje možnost vyloučení rizika nebo omezení škod volím do skupiny P1. Vyloučení nebezpečí je možné při dodržení předepsaných postupů při zásahu obsluhy do nebezpečného prostoru. PL_r určíme na hodnotu c.

Už při návrhu, musí být konstrukce navržena tak, aby za chodu při běžném provozu nebyla obsluha vystavena žádnému riziku a nemohla přijít do styku s rotujícími částmi strojního zařízení. Pro správné zabezpečení je tedy nutné řádně zakrytovat nebo oddělit polohou nebezpečné části v dosahu obsluhy. Pro eliminaci rizika bezpečnostní technikou nejlépe vychází využití světelné závory. Světelná závora bude instalována v prostoru pro přístup obsluhy za účelem odebrání upadnutého víčka, popřípadě čištění. Při využití světelné závory dokážeme zajistit, že obsluha nebude zasahovat do nebezpečného prostoru a snažit se manipulovat s upadnutým víčkem, aniž by předtím zastavila technologii. Při návrhu světelné závory navrhujeme rozlišení 14 mm, které dokáže zjistit i přítomnost prstů. Tím zajistíme, že se obsluha nebude snažit dostat víčko z nebezpečného prostoru jakýmkoli způsobem a nástrojem. Dále dochází k zajištění nemožnosti spuštění linky, pokud obsluha bude zasahovat do nebezpečného prostoru nacházejícího se za paprsky světelné závory.

Hodnocení rizika 5



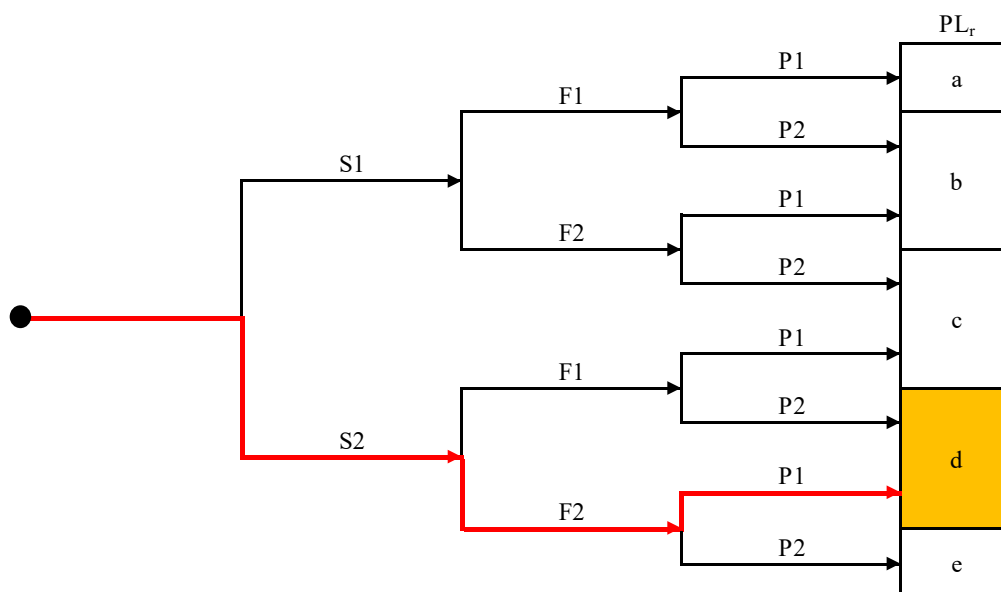
Obrázek 8 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 5

Nyní hodnotím rizika technologie u 2 části výrobní linky. Riziko 5 jsem určil na místě, kde dochází k lepení etikety na sklenice. Toto riziko je velmi podobné riziku 4. Pokud při lepení etikety dojde k upadnutí etikety z podavače nebo sklenice a obsluha tuto skutečnost zaregistruje, musí strojní zařízení zastavit, etiketu odebrat, popřípadě očistit části znečištěné od lepidla, aby nedocházelo k zanášení a nadměrnému opotřebování stroje. Parametr závažnosti zranění volím na hodnotu S2, pokud nedojde k zastavení a obsluha bude chtít etiketu odebrat během chodu, může dojít k pohmoždění, popřípadě zlomení prstů rukou obsluhy. Dále může dojít k popálení od lepidla, které se na etikety nanáší. Četnost vystavení nebezpečí je nízká, zařízení je navrženo tak aby pracovalo spolehlivě a byla vyžadována minimální akce obsluhy. Pád etikety může nastat jen párkrát za směnu, při častějším problému je obsluha povinná tuto skutečnost nahlásit údržbě a následně provést servisní úkon, pro odstranění této závady. Parametr četnosti vystavení zranění volím na hodnotu F1. Pokud obsluha dodrží stanovený postup při odstraňování etiket a lepidla, možnost vyloučení nebezpečí a omezení škod je možná. Tento parametr tedy volím na hodnotu P1. Výsledkem je PL_r c.

Konstrukce části technologie je podobná jako u rizika 4. Žádné nebezpečné části během chodu zařízení nejsou obsluze volně přístupné, jsou důkladně zakrytovány a odděleny polohou. Dostupné jsou pouze části, které musí být přístupné v případě servisního zásahu. Pro omezení rizika se nabízí několik možností, první z nich je využití dvířek z plexiskla, oddělující rotující části lepícího stroje, na těchto dvířkách by byl umístěn bezpečnostní kontakt hlídající zavřená dvířka. Jelikož je nanášené lepidlo teplé, musel by být dále řešen odvod teplého vzduchu, aby nedocházelo k nadměrnému zahřívání technologie, to by vedlo k dalším konstrukčním úpravám zařízení. Pro zajištění dostatečné cirkulace vzduchu je prostor nezakrytován. Nabízí se možnost využití světelné závory, jako u rizika 4, ta se ale může znečistit od lepidla. Volím tedy senzor detekce ruky.

Pokud obsluha protne paprsek skeneru dojde k zastavení strojního zařízení, v případě že paprsek bude protínán během stavu, kdy technologie bude zastavená, nemůže dojít k uvedení do provozu.

Hodnocení rizika 6



Obrázek 9 - Graf určení úrovně vlastností PL_r pro riziko 6

Nastává hodnocení posledního určeného rizika technologie, to se nachází u části linky, která zajišťuje balení krabic naplněných sklenicemi do fólie. Dochází krátkodobě k vývinu velké teploty, která může vést při neopatrném chování k popálení obsluhy, ať už by obsluha zasahovala přímo do nebezpečného prostoru, nebo by servisní dvířka nechala otevřená a pohybovala se v jejich blízkosti. Kontrola dvířek je nutná, jestli jsou řádně zavřena, pokud by tak nebylo, vlivem rychlého zahřátí vzduchu a následnému roztažení může dojít k prudkému otevření dvířek a udeření obsluhy stojící poblíž, v lepším případě dojde jen k lehkému udeření, v horším případě může dojít k sečnému zranění. Parametr závažnosti zranění volím na hodnotu S2. Kolem linky dochází k pohybu obsluhy, a tato část může být využívána nejen pro balení krabic se sklenicemi z první části technologie, ale i z jiné části výrobního závodu, potencionálnímu riziku je obsluha vystavena často. Parametr možnosti vyloučení nebezpečí s ohledem na nejhorší možný scénář volím na hodnotu F2. Možnost vyloučení nebezpečí volím na hodnotu P1. Pokud budou servisní dvířka řádně zavírány, vyhnout se riziku je možné. Po celkovém vyhodnocení rizika dostávám výsledek PL_r d.

K prvotnímu snížení rizika dojde již navržením vhodné konstrukce části stroje. Pokud bude požadavek na eliminaci možnosti rychlého otevření dvířek, je nutné použít monitorovaný zámek. Nebude zde umístěna klasická západka s monitorováním stavu, ale moderní elektronický bezpečnostní zámek. Jedna z možností je využití jazýčkového kontaktu, jako u rizika 2 ovšem s funkcí zamknutí jazýčkového kontaktu v mechanismu kontaktu. Tento zámek ale není příliš robustní, proto zde navrhuji umístění solenoidového zámku. Pokud budou dvířka řádně zavřena, dojde k zamknutí mechanismu a po potvrzení restartem je možný start technologie. Pokud nebude zámek zamknut, nemůže obsluha technologii uvést do provozu. Během chodu je zamezeno odemčení zámku a tím otevření servisních dvířek.

3.4. Návrh vhodných bezpečnostních opatření

Pro snížení rizik využitím vhodných bezpečnostních komponentů jsem veškerá rizika vyhodnotil, nyní je posoudím jako jeden celek. Pro hodnotu $PL_r c$, vychází rizika 2, 4 a 5, pro hodnotu $PL_r d$ vychází rizika 1, 3 a 6., hledám vhodné opatření tak, jako by veškerá rizika spadala do kategorie $PL_r = d$. Z převodní tabulky číslo 1 určuji, že hodnota $PL d$ odpovídá SIL 2. Vybírám tedy komponenty splňující tuto podmínku.

Pro návrh vhodných bezpečnostních komponent jsem si vybral firmu Rockwell Automation. Firma patří mezi největší společnosti na trhu zabývající se průmyslovou elektronikou a elektrotechnikou. Firma vznikla v roce 2001 ve Spojených státech amerických a její vznik předchází rozdělení firmy Rockwell International. Rockwell International byla od roku 1985 vlastníkem společnosti Allen-Bradley, která vznikla v roce 1903. Po rozdělení Rockwell International v roce 2001 přechází společnost Allen-Bradley, která se zabývá automatizační výrobou, pod značku Rockwell Automation.

V současné době má Rockwell Automation zastoupení v Severní a Jižní Americe, Evropě, Africe, Asii a Austrálii. V průmyslovém odvětví se firma zabývá automobilovým průmyslem, biotechnologií, chemickým průmyslem, důlním, kovodělným a cementářským průmyslem, energetikou, gumárenským průmyslem, infrastrukturou, námořní dopravou, papírenským a petrochemickým průmyslem, produkty pro domácnost a osobní hygienu, polygrafii, potravinářským průmyslem, textilním průmyslem, vodohospodářstvím, výrobou polovodičů a zábavním průmyslem. Firma nabízí poradenství, průmyslovou automatizaci a řízení, průmyslovou údržbu a bezpečnost, průmyslové sítě, informační řešení, procesní a bezpečnostní řešení. Pokud se zaměříme na bezpečnostní součásti, firma nabízí bezpečnostní zařízení pro detekci přítomnosti, zde patří světelné závory, laserové skenery, rohože a okraje citlivé na tlak, senzory na detekci ruky. Dále pak spínače vzájemného blokování, například bezkontaktní, bezpečnostní zámky, jazýčkové blokovací zámky, závěsy, koncové spínače a záchytné klíče. Dnes důležitou roli také hrají zařízení nouzového zastavení, na výběr je z tlačítek nouzového zastavení, polovodičových spínačů a lankových spínačů. Aby technologie mohla být monitorována a řízena, nabízí společnost softwarově konfigurovatelné, multifunkční a jednofunkční relé. Pro větší aplikace lze využít bezpečnostních programovatelných řídicích jednotek. Při větších aplikacích a komunikacích na delší vzdálenosti jsou využívány průmyslové ethernetové sítě. Pomocí takové sítě můžeme technologii ovládat na dálku, popřípadě můžeme využít diagnostických panelů a zařízení. [4]

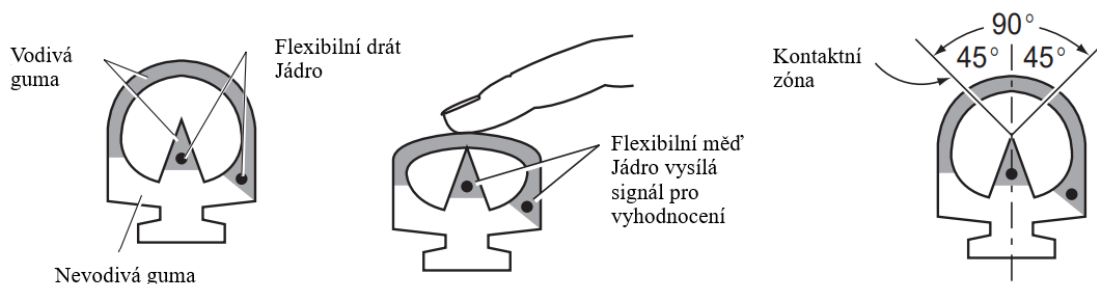
Při návrhu bezpečnostních komponent firmy Rockwell Automation vybírám průřezem nabízeného sortimentu pro lepší demonstraci, co společnost nabízí, zároveň ale dodržují podmínku, aby bezpečnostní komponenty spadaly minimálně pod kategorii SIL 2. Bezpečnostní komponenty navrhuji postupně od rizika 1 až po riziko 6.

3.4.1. Bezpečnostní komponenty

Okraj citlivý na tlak

Jedná se o zařízení, které je složené z vodivé gumy. Skládá se z flexibilního drátu a jádra. Při normálním stavu se drát a jádro nedotýkají a jsou zakončeny konektorem s odporem. Tento odpor je určen pro daný obvod. Pokud dojde k přitlačení vnější hrany na vnitřní jádro, dojde ke zkratu a tím ke změně odporu a vyslání signálu do řídicí jednotky. Aktivaci způsobí i malý tlak, z jakéhokoli směru, maximálně pod úhlem 90° . Hrana je připojena za pomoci 4 vodičů, 2 slouží pro připojení na vstup k bezpečnostnímu relé a 2 pro vstup testovacích pulzů. Připojena může být buď do řídicí jednotky, která je následně spojena s bezpečnostním relé, u jednodušších aplikací může být připojena přímo do konfigurovatelného bezpečnostního relé. Při aplikaci, kde je vyžadováno zapojení více okrajů, můžeme je spojit buď sériově nebo paralelně, musíme ovšem dodržet hodnoty zakončovacích odporů. Hranu lze montovat na stacionární nebo pohyblivé části, například vrata, aby nedocházelo k úrazu obsluhy. Nevodivou částí gumy je hrana připevněna k hliníkovému C profilu pro snadnější instalaci. Maximální délka hrany je až 50 m, krytí plní požadavky na IP 67. Okraj citlivý na tlak plní požadavky na kategorii PL d.

V naší aplikaci je okraj citlivý na tlak zapojen přímo do bezpečnostního konfigurovatelného relé 440C-CR30. Dva vodiče jsou připojeny na bezpečnostní svorky relé, druhé dva vodiče jsou připojeny na svorky, které jsou nakonfigurovány pro vysílání testovacích pulzů. [5]



Obrázek 10 - Dispozice a princip okraje citlivého na tlak [5]



Obrázek 11 - Okraj citlivý na tlak [5]

Bezkontaktní spínač vzájemného blokování

Jde o magnetický kontakt, skládající se ze dvou částí. První část je připevněna na statické straně chráněného prostoru a je připojena k bezpečnostnímu obvodu. Obsahuje LED indikaci stavů. Pokud svítí zeleně, dveře jsou správně zavřeny a bezpečnostní výstupy aktivovány, pokud svítí červeně dvířka jsou otevřena a výstupy vypnuty. Druhá část obsahující magnet se připevňuje na pohyblivou část chráněného objektu. Obě části jsou umístěny v plastovém pouzdře. Vzdálenost pro snímání vzdálenosti je nastavena na 15 mm, k vypnutí dochází, pokud vzdálenost kontaktů přesáhne 35 mm. Při montáži musí být kladen důraz na souosost, maximální vychýlení může být 23 mm. Kontakt je kódovaný, buď standardně nebo unikátně a vybaven technologií RFID pro eliminaci sabotáže za pomoci využití jiného magnetického kontaktu a následnému uvedení technologie do provozu. Navržený kontakt má kódování standardní, připojen je na sběrnici GuardLink, o které se zmiňuji níže, pomocí konektoru M12 8 pin. Provedení může být i 5 pin nebo s kabelem o délkách 3 respektive 10 metrů. Kontakt 8 pin obsahuje napájení 24 V DC, OSSD vstupy a výstupy 1 a 2. OSSD signály rozumíme napětí 24 V DC, mající na sobě modifikované testovací pulsy v určitých časových intervalech, zda nedochází ke zkratu na jiné napájecí napětí 24 V DC, zkratu na 0 V DC nebo ke zkratu mezi dvěma signály. Bezpečnostní kontakt plní požadavky na zařízení do kategorie PL e. Stupeň krytí dle normy DIN 40050 je IP 69K, označuje odolnost proti vniku tlakové vody a páry, která na zařízení působí například při čištění a nemůže dojít k jeho poškození. Zařízení s IP 69K jsou vhodné pro využití v potravinářském průmyslu, kde jsou kladeny nejprísnejší požadavky na hygienu. [5]



Obrázek 12 - Magnetický spínač vzájemného blokování 440N-Z21SS2HN9 [5]

Jazýčkový blokovací zámek

Mechanický kontakt, který slouží pro monitorování stavu, zdali jsou dvířka / kryty řádně zavřeny a plní svou ochrannou funkci tak, aby nemohlo dojít k úrazu obsluhy. Od předcházejícího kontaktu se liší tím, že má fyzický kontakt, který musí být sepnut, aby mohla obsluha uvést zařízení do provozu. Opět se skládá ze dvou částí, první část, je připevněna na statické části konstrukce a připojena do bezpečnostního obvodu, například na sběrnici GuardLink, popřípadě přímo do bezpečnostního programovatelného relé. Na hlavním těle jsou 2 otvory, do kterých může protikus – jazýček – zapadnout, to umožňuje více možností umístění při montáži. Tělo kontaktu je z plastu. Jazýček se instaluje na pohyblivou část ochranného krytu. Je to železný výlisek specifického tvaru, z důvodu ztížení sabotáže kontaktu. Jazýček je osazen pružinou, pro detekci špatného upevnění na pohyblivé části konstrukce.

Při uvolnění a zasazení jazýčku do těla kontaktu je jazýček vytlačén pružinou ven a není možné uvedení stroje do provozu. Dle požadavků lze kontakt objednat s různou specifikací kontaktů.

V mé aplikaci je kontakt osazen kontakty 3 x N.C. a 1 x N.O. Bezpečnostní prvek je opět připojen na sběrnici GuardLink. Nevýhodou oproti magnetickému kontaktu je nepřítomnost kódování RFID, což usnadňuje případnou sabotáž kontaktu. Stupeň krytí je IP 67.

Pro daný bezpečnostní prvek výrobce neudává hodnotu PL, hodnota je závislá na typu zapojení. Odhad PL provádím výpočtem ze strany 16.

Odhad PL provedeme za následujících předpokladů:

B_{10D} = 2 000 000 – udává výrobce

d_{op} = 250 dnů / rok

h_{op} = 10 hodin / den

C = 2 cykly / hodinu

$$MTTF_D = \frac{B_{10D}}{0,1 \cdot d_{op} \cdot h_{op} \cdot C} \quad (2.1)$$

$$MTTF_D = \frac{2000000}{0,1 \cdot 250 \cdot 10 \cdot 2} \quad (2.2)$$

$$MTTF_D = 4000 \text{ let} \quad (2.3)$$

$MTTF_D$ spadá do kategorie vysoké, diagnostické pokrytí uvažujeme střední. Z normy ČSN EN ISO 13 849-1, kde je uveden vztah mezi kategoriemi, DC_{avg} , $MTTF_D$ každého kanálu a PL, stanovím úroveň PL d. [5]



Obrázek 13 - Jazýčkový blokovací zámek (Trojan 6) 440K-T11171 [5]

Laserový skener

Laserový skener je v dnešní době čím dál více využívaný bezpečnostní prvek. Nachází široké využití ve stacionárních aplikacích, pro monitorování výstražné a zakázané oblasti. U pohyblivých aplikací slouží pro monitorování okolí plně automatických dopravníkových vozíků. Vozíky se pohybují po předem nakonfigurované a vyznačené trase, laserové skenery zabráňují nárazu do cizích předmětů a osob nacházejících se v nebezpečném prostoru okolo vozítka. Skener pracuje na principu vyslání infračerveného paprsku, kdy zpracovává dobu od vyslání paprsku po jeho návrat. Rozsah skeneru SafeZone Mini je až 270° při rozlišení 30 respektive 40 mm pro detekci ruky a 50 nebo 70 mm pro detekci nohy. Pro rozlišení 30 mm je maximální ochranné pole 1,25 metru, pro rozlišení 70 mm je maximální ochranné pole 2 metry. Výhodou skeneru je možnost nastavení varovného a ochranného prostoru. Konkrétnímu nastavení skeneru se věnuji v kapitole, týkající se programové části. Laserový skener u stacionárních aplikací lze instalovat vodorovně, svisle, otočen o 180° okolo vodorovné osy, popřípadě pod úhlem.

Pro správné nastavení skeneru zejména u stacionárních aplikací je důležitý výpočet bezpečné vzdálenosti, ta nám určuje takovou vzdálenost, kdy od vstupu osoby do ochranného pásma dochází k zastavení stroje a nebezpečného bodu můžeme dosáhnout až po zastavení technologie. Výpočet je určen v normě EN ISO 13 855 vychází ze vztahu:

$$S = (K \cdot (T_M + T_S)) + Z_G + Z_R + S_C \quad (3)$$

K – rychlost přiblížení (1600 mm/s)

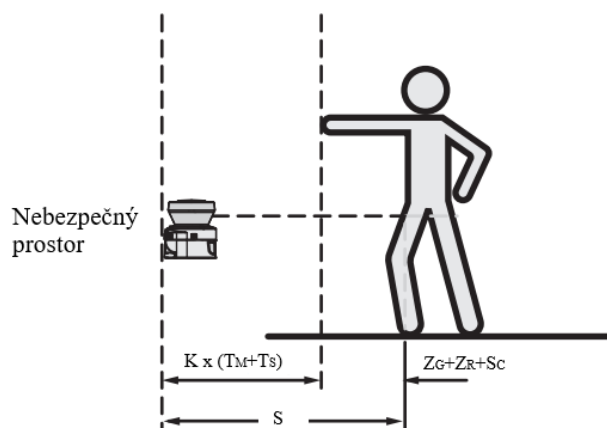
T_M – čas zastavení / doběhu stroje

T_S – doba odezvy SafeZone Mini

Z_G – všeobecný bezpečnostní doplněk
SafeZone Mini (100 mm)

Z_R – doplněk související s chybou
měření odrazu

S_C – doplněk vzdálenost
k nebezpečnému prostoru



Obrázek 14 - Určení minimální vzdálenosti S [5]

Doplněk S_C dále závisí na montážní výšce laserového skeneru. Pokud je skener instalován <300 mm od podlahy a snímá vodorovnou plochu před sebou, $S_C = 1200$ mm. Při instalaci skeneru ve výšce >300 mm, $S_C = 850$ mm, to platí i při instalaci skeneru instalovaného ve výšce <300 mm, snímajícího prostor šikmo nahoru před sebou. Při instalaci vysoko <300 mm a rozlišení pro detekci nohy 70 mm, je nebezpečí nezachycení blížící se osoby včas. Při umístění skeneru >300 mm nad zemí zase hrozí nebezpečí proplazení osoby pod paprskem skeneru, a je na zvážení využít další bezpečnostní ochranu, například rohož citlivou na tlak. Výrobci tedy doporučují montážní výšku 300 mm s rozlišením pro nohu 70 mm (průměr lýtky). Pokud se aplikace nachází na místě, které je přístupné veřejnosti, musí být montážní výška snížena na 200 mm.

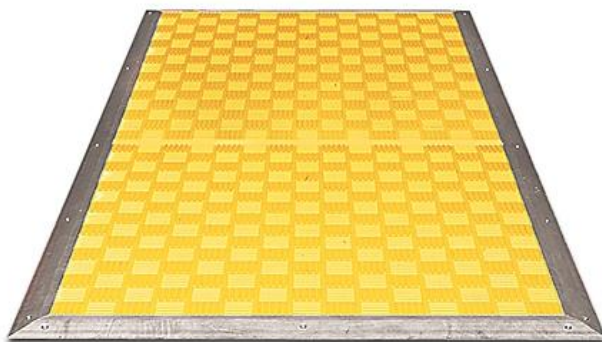
Skener je zapojen přímo do konfigurovatelného bezpečnostního relé 440C-CR30. Pro připojení skeneru ke konfigurovatelnému bezpečnostnímu relé využívám pouze vodiče pro napájení 24 V DC a vodiče s bezpečnostními výstupy OSSD 1 a 2. Reset nastavuji automatický, varovné pole nenastavuji a hlídání kontaktů stykačů sloužících pro připojení motoru je prováděno na bezpečnostním relé sběrnice GuardLink. Laserový skener plní požadavky na zařízení do kategorie PL d a stupeň krytí je IP 65. [5]



Obrázek 15 - Laserový skener SafeZone Mini 442L-SFZNMN [5]

Rohož citlivá na tlak

Jde o bezpečnostní prvek pro zjišťování přítomnosti osob v nebezpečném prostoru. Pokud osoba vstoupí na tlakovou rohož dochází k zastavení stroje, popřípadě nemůže dojít k jeho spuštění. Cíl tlakové rohože je podobný jako u laserového skeneru, avšak může být použita pouze u stacionárních aplikací, což je její nevýhodou. Další nevýhodou je nutnost umístění tlakových rohoží kolem celého nebezpečného prostoru, a to v dostatečně velké ploše. Výhodou rohože oproti laserovému skeneru naopak je eliminace sabotáže – podplazením osob pod skenerem – rohož reaguje na objekty těžší než 30 kg. Rohože jsou vyráběny v různých šířkách a délkách pro lepší vyskládání kolem nebezpečného prostoru. Při rozsáhlejších aplikacích jsou rohože napojovány do řídicí jednotky a výstup z řídicí jednotky je připojen na bezpečnostní relé. Pokud využíváme pouze malé množství rohoží, můžeme je připojit přímo do programovatelného bezpečnostního relé, například 440C-CR30. Připojení je provedeno pomocí 4 vodičů, 2 vodiče jsou zapojeny na bezpečnostní vstup relé a 2 vodiče na svorky relé, které jsou nakonfigurovány pro testovací pulzy. Tlaková rohož plní požadavky na zařízení do kategorie PL d. Stupeň krytí je IP 67. [5]



Obrázek 16 - Rohož citlivá na tlak 440F-M1010BYNN [5]

Světelná závora

Světelná závora představuje jedno z nejznámějších a nejvyužívanějších bezpečnostních zařízení skládající se z vysílače a přijímače. Pokud narušitel přeruší tok světelného paprsku, závora vypíná bezpečnostní výstup, řídicí jednotka bezpečnostního prvku dává pokyn k zastavení stroje. Světelná závora musí být umístěna tak, aby jediný možný pohyb směrem k nebezpečnému prostoru byl právě přes ni, nejčastější umístění je na konstrukcích strojů nebo oplocení technologických celků, kdy možný vstup k technologii je pouze přes paprsky závor. Velkou výhodou je široká nabídka na trhu, nabídka různých rozlišení a nižší cena oproti laserovým zařízením – například skeneru. Nevýhodou naopak je nezjištění přítomnosti osoby v nebezpečném prostoru, pokud zde osoba vnikne před zapnutím světelné závory a nijak nenarušuje tok paprsků. Pro aplikaci využívám světelnou závoru firmy Allen-Bradley výrobní řady 450L, dodává se s rozlišením 14 nebo 30 mm, to udávají instalované čočky v závoře. Pokud jsou osazeny veškeré pozice pro čočky – rozlišení 14 mm –, případně osazení každé druhé pozice – při rozlišení 30 mm. Využívám rozlišení 14 mm, aby obsluha nemohla prsty ani jinými prvky zasahovat do nebezpečného prostoru. Jedná se o tok infračervených paprsků. Vysílač a přijímač není z výroby nijak rozlišen, to se provádí pomocí zásuvných modulů do závory při instalaci. Závora je napájena 24 V DC, přímo ze sběrnice GuardLink, na kterou je připojena pomocí konektoru M12 5pin. Zásuvný modul ve vysílači obsahuje pouze napájení 24 V DC a uzemnění, konektor na přijímači obsahuje napájení 24 VDC, uzemnění a dále OSSD výstupy 1 a 2. Minimální operační vzdálenost (vzdálenost mezi vysílačem a přijímačem) určuje výrobce, při rozlišení 14 mm jde o 500 mm. Při aplikaci, kde dochází k využití více světelných závor je zapojujeme do kaskády, musíme ale dodržet minimální vzdálenosti mezi páry závor – opět určuje výrobce – aby nedocházelo k rušení. V aplikaci, kde potřebujeme umístit dvojici světelných závor velmi blízko sebe, nastavíme na DIP přepínačích aktivaci nízkého rozsahu, a tím se omezí překrytí signálů. DIP přepínače jsou umístěné v zásuvném modulu vysílače. [5]



Obrázek 17 - Světelná závora GuardShield 450L-E4FL0450YD [5]

Pro správné umístění světelné závory je důležitý výpočet minimální vzdálenosti od nebezpečného prostoru, provádí se dle normy EN ISO 13 855 následovně:

$$S = K \cdot T_M + S_C \quad (4.1)$$

K – rychlost přiblížení – norma udává 2000 mm/s (pokud $S > 500$ mm, počítáme $K = 1600$ mm/s)

T_M – doběh celého systému v sekundách (do ukončení nebezpečného pohybu)

S_C – doplňující vzdálenost v milimetrech

2. Při rozlišení závory $d \leq 40$ mm

$$S_C = 8 \cdot (d - 14) \quad (4.2)$$

2. Při rozlišení závory $d > 40$ mm ≤ 70 mm

$$S_C = 850 \text{ mm}$$

Světelná závora plní požadavky na zařízení do kategorie PL e. Stupeň krytí je IP 65. [5]

Senzor na detekci ruky

Tento bezpečnostní prvek patří do skupiny zařízení, které zjišťují pomocí optického paprsku zásah osob do nebezpečného prostoru. Největší nevýhodou, jak už vyplývá z názvu, je fakt, že slouží pouze pro zjištění, zdali obsluha nebo jiná osoba zasahuje do nebezpečného prostoru rukou. Nevýhodou pak je, že maximální střežený prostor, který může senzor snímat je 1,5 x 1,5 metru, zatímco světelná závora uváděna výše může v závislosti na rozlišení hlídat prostor až 4 respektive 7 metrů. Oproti světelné závoři se senzor na detekci ruky skládá pouze z jednoho akčního členu, senzor vysílá paprsek, ten se odráží od reflexní nálepky, která musí být umístěna na opačných stranách chráněného prostoru, než je umístěn senzor. Senzor dosahuje rozlišení 20, 24 nebo 30 mm, v závislosti na použité reflexní odrazné pásce. Pro instalaci senzoru existují 2 možnosti, první spočívá v instalaci zařízení přímo naproti reflexní pásce, druhá možnost dovoluje instalaci na rám konstrukce – senzor nemusí být umístěn kolmo k odrazné ploše. U obou těchto instalací je nutné prvotní správné nastavení. Senzor si rozdělí hlídaný prostor na 4 části, při narušení dokáže indikovat pomocí LED diod na těle senzoru, v které části dochází k narušení střeženého prostoru.

Pro zajištění správné bezpečnostní funkce je opět důležité určení, do jaké minimální vzdálenosti od nebezpečného prostoru optický prvek umístit. Musíme zajistit, že při přibližování osoby nemůže dojít ke kontaktu s nebezpečným místem. Výpočet bezpečné vzdálenosti vychází z normy EN ISO 13 855 a je totožný s výpočtem minimální vzdálenosti jako u světelné závory.

Pro snadné připojení je senzor osazen konektorem M12 8 pin pro napájení 24 V DC, restart, určení snímané plochy, EDM, uzemnění a bezpečnostní výstupy OSSD 1 a 2.

Senzor na detekci ruky plní požadavky dle EN ISO 13 849-1 na zařízení do kategorie PL d. Stupeň krytí IP je IP 54. [5]



Obrázek 18 - Senzor na detekci ruky 442L-SAFCAM1 [5]

Bezpečnostní zámek

Bezpečnostní zámek zabraňuje obsluze a ostatním osobám zásah do nebezpečného prostoru, pokud je technologie spuštěná. Na rozdíl od magnetického kontaktu nebo jazýčkového blokovacího zámku dochází při uzavření dvířek před nebezpečným prostorem k jejich zamknutí, odemknout zámek může obsluha tehdy, pokud je technologie vypnutá. Pro naši aplikaci jsem vybral solenoidový zámek, ten je vybaven technologií RFID pro eliminaci sabotáže. Solenoidový zámek se vyrábí ve dvou provedeních, sloužících pro ochranu lidí nebo pro ochranu stroje. Využívám technologii pro ochranu osob a oproti technologii na ochranu zařízení se liší v systému zamykání a odemykání, kdy pro ochranu osob musíme přivést 24 V DC pro odemčení, u ochrany zařízení to je naopak. Napětí je možno přivést z řídicího systému, a to pouze, kdy je stroj zastaven. Připojení našeho zámku je realizováno pomocí kabelu s 8 vodiči, které se zapojují do sběrnice PLC. Zakončen může být taktéž konektorem M12 8 pin. Kabelem je realizováno napájení 24 V DC, uzamknutí / odemčení, signalizace zamčení / odemčení, bezpečnostní vstupy a výstupy OSSD 1 a 2.

Bezpečnostní zámek
plní požadavky dle
EN ISO 13 849-1 na zařízení
do kategorie PL e.
Stupeň krytí dokonce splňuje
podmínky IP 69. [5]



Obrázek 19 - Bezpečnostní zámek 440G-LZS21STRA [5]

Tlačítko nouzového zastavení

Jde o nejpoužívanější a nejznámější bezpečnostní prvek. Jeho princip je jednoduchý, při hrozícím nebezpečí jej obsluha zmáčkne, dochází k zastavení technologického celku. Tlačítkem nouzového zastavení, takzvaného E-STOP musí být vybaveno každé strojní zařízení. Problematické zapojení tlačítek E-STOP se věnuje norma ČSN EN ISO 13 849-1, která určuje podle varianty provedení, jakou bezpečnostní úroveň PL dosáhne dle kategorie zapojení. Pokud je zapojení 1 kanálové, jedná se o zapojení bez redundance a může být provedeno bez zpětné vazby nebo se zpětnou vazbou, poté může dosáhnout bezpečnostní úrovně PL c respektive PL d. U 2 kanálového zapojení – s redundancí – a bez zpětné vazby nebo se zpětnou vazbou může dosáhnout úrovně PL e. Konstrukce musí splňovat: kontakty s nuceným vypnutím, mechanická aretace, aktivací prvek – hříbek – má červenou barvu a je umístěn na žlutém podkladu. E-STOP dále podléhá následujícím pravidlům: musí být řádně viditelný a být k němu zajištěn snadný přístup, po aktivaci musí být ukončen nebezpečný stav, ale aktivace nesmí způsobit další riziko, musí mít přednost před veškerými povely i funkcemi, deaktivace nesmí vést ke spuštění strojního zařízení. [7]

Tlačítko E-STOP v aplikaci využívám 2x, pro každou část technologie jedno. V části technologie, kde dochází ke zpracování zeleniny je klasické tlačítko nouzového zastavení, zapojení je 2 kanálové, připojeno na sběrnici GuardLink. Plní požadavky na zařízení až do kategorie PL e, jelikož obsahuje 2 nezávislé kontakty a zpětnou vazbu. Stupeň krytí splňuje požadavky na IP 66. Druhé tlačítko nouzového zastavení se nachází v 2 části technologie. Nejedná se o klasické provedení, ale jde o modul tlačítka E-STOP, který obsahuje tenzní vstup. Jde o lanko, které je nataženo podél technologie, například kolem dopravníkového pásu, zatažením za lanko dojde k aktivaci bezpečnostní funkce a vypnutí technologie. Výhodou tohoto systému je, že lze pokrýt až 100 metrů, a přitom mít využit jen jeden bezpečnostní modul nouzového tlačítka. Verze osazená konektorem M12, 8 pin obsahuje: napájení 24 V DC, 2 x OSSD vstupy a výstupy, signalizaci ztráty napnutí lanka a pomocný výstup.

Modul E-STOP s tensním vstupem plní požadavky dle EN ISO 13 849-1 na zařízení do kategorie PL e. Stupeň krytí IP je IP 66. [5]



Obrázek 20 – E-STOP s tensním vstupem 440E-LL5SE8 [5]

3.4.2. Ovládací část bezpečnostních komponentů

Aby bezpečnostní komponenty plnily správnou funkci, jejich výstupní signály musí být řádně zpracovávány. Zpracování signálů u rozsáhlejších aplikací nejčastěji realizujeme pomocí bezpečnostních programovatelných jednotek a bezpečnostních programovatelných relé. Tyto komponenty dokáží zpracovávat velké množství signálů a dle příslušného programu, který musí obsahovat, s nimi dále nakládají. Výstupní signály poté ovládají například frekvenční měniče nebo bezpečnostní relé.

Bezpečnostní programovatelná jednotka

U rozsáhlejší aplikace je pro hlídání stavů jednotlivých komponent dobré využít programovatelnou jednotku. Od společnosti Allen-Bradley využívám jednotku Compact GuardLogix 5380 Controller, ta spadá do kategorie malých řídicích systémů. Oproti klasické programovatelné jednotce je její paměť rozdělena na dvě části, standartní a bezpečnostní. Jednotka splňuje požadavky na zařízení do kategorie PL d. Přímo k jednotce mohou být připojeny sběrnice s moduly obsahující jak bezpečnostní, tak i klasické vstupní a výstupní moduly. Druhá možnost využití spočívá v tom, že samotnou bezpečnostní jednotku použijeme pouze jako mozek, ve kterém je nahrán bezpečnostní program a ta ovládá připojené podsystémy. Propojení jednotlivých částí je realizováno pomocí Ethernetu. V mém případě pro připojení vstupů a výstupů pro 2 část technologie využívám I/O modulovou sběrnici řady 1734 POINT I/O, která je osazena bezpečnostními DI vstupy a bezpečnostním DO výstupem, dále pak klasickými DI vstupy a DO výstupem.

První část technologie, která zpracovává syrovou zeleninu, má své vlastní bezpečnostní programovatelné relé a sběrnici GuardLink, avšak obě části spadají do podsystému jednotky Compact GuardLogix 5380 Controller, která vyčítá veškerá data. [5]



Obrázek 21 - Bezpečnostní programovatelná jednotka 5069-L310ERS2 [5]

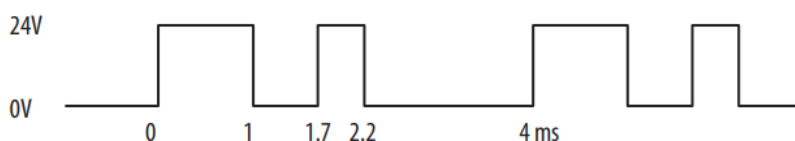
Bezpečnostní programovatelné relé

Část 1 technologie je řízena bezpečnostním programovatelným relé 440C-CR30. Obsahuje 10 klasických bezpečnostních vstupů, 2 programovatelné vstupy, 6 vstupů a výstupů dle naprogramování, 2 klasické výstupy a 2 programovatelné výstupy. Do programovatelného relé je připojen laserový skener, rohož citlivá na tlak a okraj citlivý na tlak. Pro snazší komunikaci a možnost programování je relé osazeno 440C-ENET modulem. Bezpečnostní programovatelné relé 440C-CR30 plní požadavky na zařízení do kategorie PL e. Na výstupní svorky se mohou připojit bezpečnostní relé nebo lze výstup nakonfigurovat na SWS signál. Ten je v mé aplikaci zaveden do bezpečnostního relé sběrnice GuardLink.



Obrázek 22 - Bezpečnostní programovatelné relé 440C-CR30-22BBB [5]

SWS (Single Wire Safety) představuje unikátní signál, který je odeslán jen po jednom vodiči a signalizuje bezpečný stav. Signál plní všechny náležitosti pro PL e. Na obrázku 23 je znázorněna charakteristika SWS signálu. Jde o pulzní signál 24 V DC začínající v čase 0 s, trvající 1 ms. Druhý pulz začíná v čase 1,7 ms a trvá 500 μ s. Signál se opakuje s periodou 4 ms. [5]



Obrázek 23 - Průběh SWS signálu [5]

Bezpečnostní relé Guardmaster

Hlavní výhodou bezpečnostních relé Guardmaster je snadná instalace. Jedná se o soubor relé, umístěných vedle sebe, vzájemně propojených. V aplikaci využívám systém GuardLink, ten zjednodušuje připojení bezpečnostních komponent do série po sběrnici, po ní může být ovládáno odemykání a zamykání blokovacích prvků, nemusí se využívat dalších jiných vodičů. Celá sběrnice je propojována 4 vodičovým kabelem, 2 slouží pro napájení 24 V DC a 2 pro stavové signály, ovládání a diagnostiku. Sběrnice propojuje jednotlivé kohoutky, ke kterým jsou připojovány bezpečnostní prvky. Kohoutky se vyrábí ve 4 provedeních, dle typu zařízení, které chceme připojit. Sběrnice GuardLink je připojena do takzvaného DG relé – typ 440R-DG2R2T. K relé mohou být připojeny 2 sběrnice

Konfiguraci doplňuje modul Ethernet / IP – 440R-ENETR. Umožňující komunikaci až 6ti relé Guardmaster s připojenou sítí. Výměna informací mezi jednotkou 440R-ENETR a jednotlivými relé řady Guardmaster je realizována pomocí zabudované optické sběrnice. [5]



3.5. Návrh modelu technologie

Pro výše uvedený technologický celek složený ze dvou částí navrhují využití vhodných bezpečnostních komponentů a volím je tak, aby splňovaly potřebné náležitosti. Pro 1 a 2 část technologie navrhují model formou dvou výukových panelů, osazených bezpečnostními řídicími jednotlivými a bezpečnostními prvky. Kromě dvou výukových panelů model obsahuje 4 samostatné stojany osazené bezpečnostními prvky, které nelze umístit přímo na panely. Jedná se o světelnou závoru, laserový skener, skener na detekci ruky a tlačítko E-STOP s tenzním vstupem. Tyto prvky pro zajištění plné funkčnosti vyžadují minimální předepsaný prostor, který je určen výrobcem. Panely a stojany jsou vyrobeny z hliníkových profilů.

Bezpečnostní prvky, které jsou osazeny na samostatných stojanech, připojují k panelům pomocí kabelů s konektory pro snazší manipulaci. Všechny kabely a konektory jsou řádně popsány. Kromě bezpečnostních komponentů a řídicích prvků každý panel obsahuje napájecí a jistící část. Návrh elektrické části, dispozice a konstrukce stojanů je součástí přílohy práce.

Výukový panel 1 reprezentuje druhou část technologie, je napájen zdrojem GU2, 24 V DC a navrhují ho osadit bezpečnostní programovatelnou jednotku Compact GuardLogix 5380 Controller, (A1), která zpracovává nejen bezpečnostní vstupy pro 2 část technologie ale i stavové signály 1 části technologie. Jednotka A1 je spojena s I/O modulem 1734 POINT I/O (A2) přes switch 1783-US8T (AB1). Do switche jsou připojeny ethernetové kabely z obou výukových panelů. Modul A2 je osazen bezpečnostními a klasickými DI a DO kartami pro PLC sběrnici, označené A3 až A10. Sběrnice pro PLC má na bezpečnostní vstupy připojeny prvky z druhé části technologie:

- bezpečnostní zámek (BZ1),
- senzor na detekci ruky (BS1),
- tlačítko E-STOP s tenzním vstupem (BS2).

Na bezpečnostní DO kartě připojují signály, ovládající dvojici bezpečnostních stykačů KA1 a KA2. Ty jsou zapojeny do série a je přes ně realizováno napájení motorku, demonstrující chod technologie. Motorek M1 je napájen zdrojem GU1, 12 V DC, nachází se v prostoru za senzorem pro detekci ruky a s výukovým panelem 1 je propojen konektorem K10.A/B.

Pokud není technologie v chodu, může dojít k odemčení solenoidového zámku tlačítkem S2. Na klasickou DI kartu PLC sběrnice připojují tlačítka S1.1, S1.2 a S1.3 pro ovládání start, stop a reset. Z DO karty vedu signály pro panel 1: signalizace start, signalizace reset a signalizace solenoidový zámek lze odemknout, pro panel 2: signalizace start a signalizace reset.

Výukový panel číslo 2 prezentuje první část technologie, napájen je zdrojem GU4, 24 V DC. Panel je osazen jednotkou bezpečnostního programovatelného relé 440C-CR30-22BBB (A15), na jehož vstupy připojují:

- laserový skener (BS3),
- rohož citlivá na tlak (BR1), umístěna na podlaze, s výukovým panelem je připojena pomocí konektorů K1.A/B a K2.A/B,
- hrana citlivá na tlak (BH1), umístěna na rámu konstrukce panelu.

Dále panel osazují skladbou bezpečnostních relé Guardmaster pro sběrnici GuardLink obsahující:

- 440R-ENETR (GL1),
- 440R-DG2R2T (GL2),
- 440R-EM4R2 (GL3).

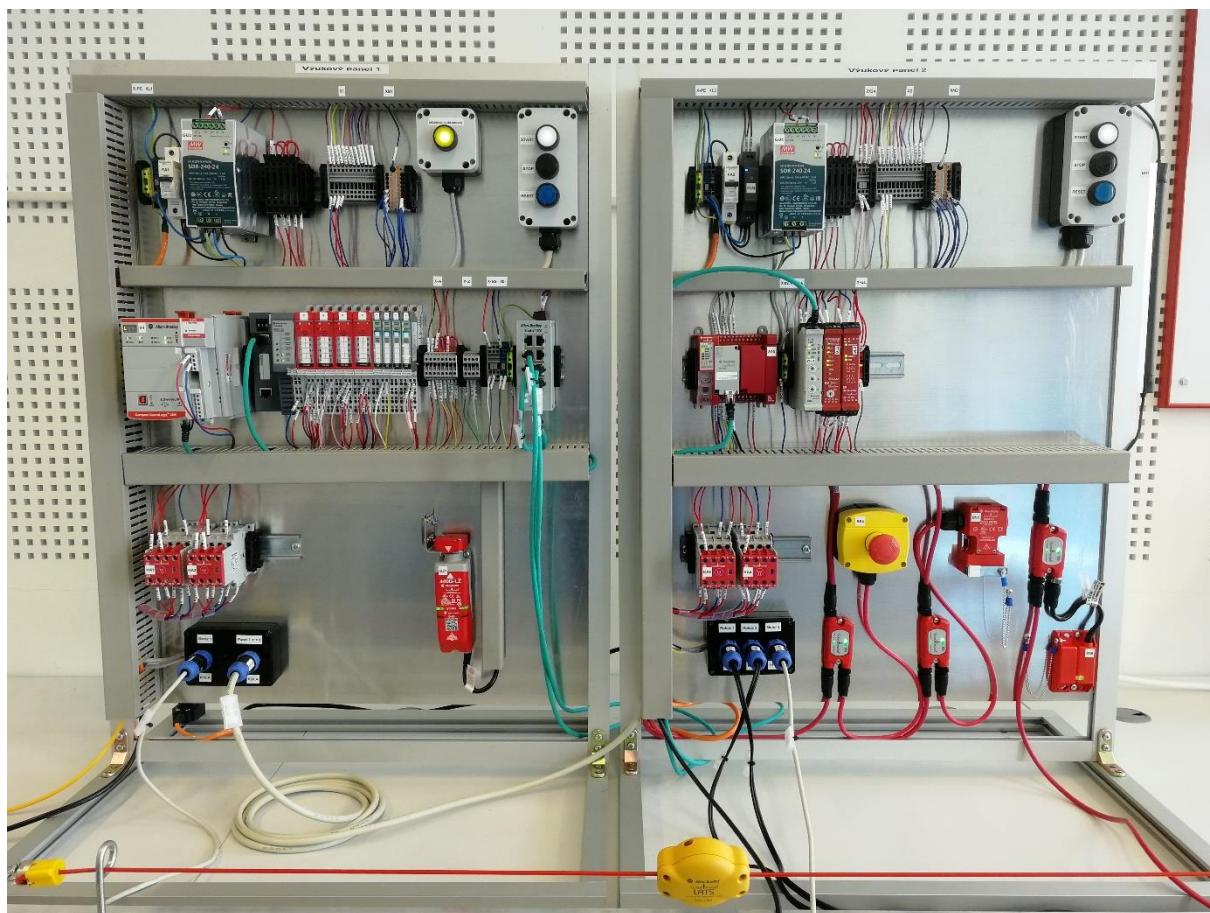
Na sběrnici GuardLink, která je připojena do GL2 připojují bezpečnostní komponenty:

- bezpečnostní E-STOP (BS4),
- jazýčkový blokovací zámek (BS5),
- bezkontaktní spínač vzájemného blokování (BS6),
- pár světelných závor (BS7.A a BS7.B).

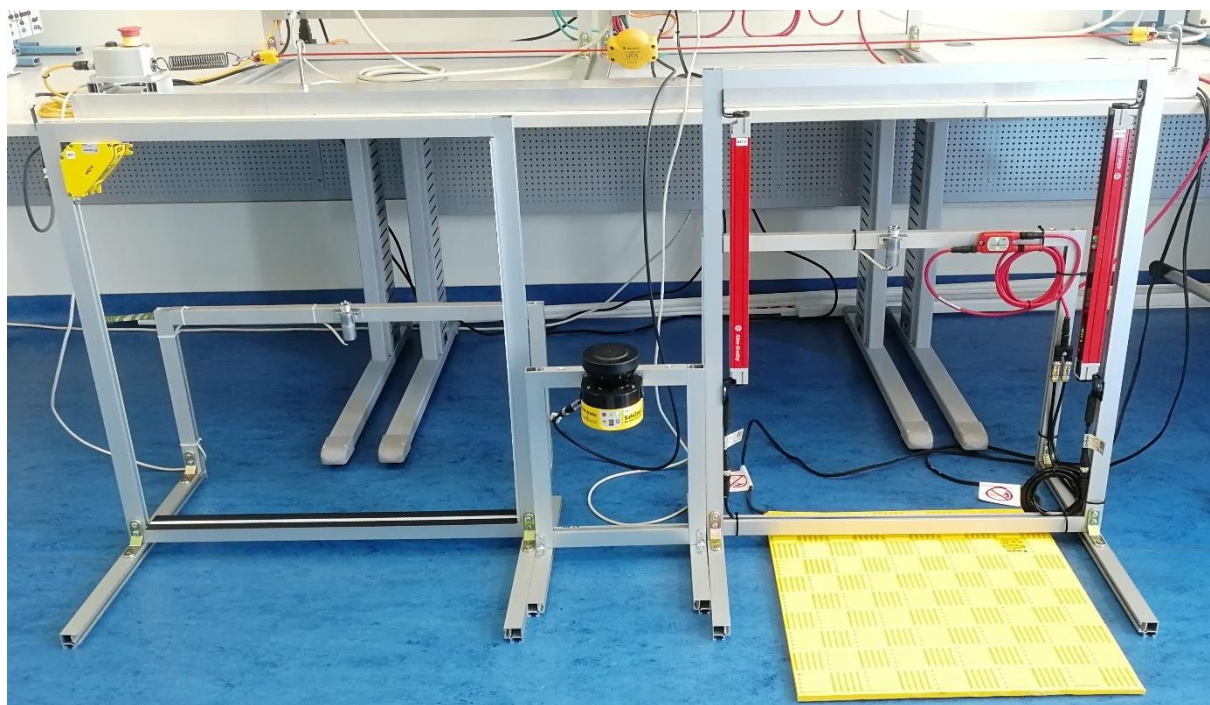
Na výstupy z EM relé zapojují dvojici bezpečnostních stykačů KA3 a KA4, přes které je napájen motorek M2 simulující chod technologie. Motorek je napájen zdrojem GU3, 12 V DC a situován je v prostoru za světelnou závorou. S výukovým panelem 2 je spojen pomocí 2 pinového konektoru K11.A/B. Start a stop jsou realizovány tlačítky S3.1 a S3.2 zapojené do GL3. Tlačítko S3.3 pro reset je připojeno do GL2. Výukový panel 2 je s panelem 1 propojen kromě ethernetových kabelů také multikabelem pro přenos signalizačních signálů. Jedná se o kabel 12 x 0,5 a s výukovým panelem je připojen konektorem K20.A/B, jde o 12 pinový konektor.

Při tvorbě dokumentace, nacházející se v příloze, a návrhu rozmístění jsem vycházel z katalogových údajů, uživatelských manuálů a zapojovacích diagramů. Všechny tyto dokumenty jsou volně dostupné na stránkách výrobce.

Fotky výukových panelů a bezpečnostních prvků osazených na samostatných rámech se nachází na obrázcích 25 a 26.



Obrázek 25 - Výukový panel 1 (vlevo) a 2 (vpravo)



Obrázek 26 - Bezpečnostní prvky osazené na samostatných rámech

3.6. Programová část

Pro zajištění správné funkce bezpečnostní části ovládacího systému nestačí využití pouze bezpečnostních komponentů, technologický celek musí obsahovat taktéž řídicí jednotku, která dokáže vstupy jednotlivých bezpečnostních i klasických prvků vyhodnotit a na základě požadované funkce s nimi dále pracovat, například uvést zařízení do provozu nebo zastavit. Jak jsem již uváděl, hlavním mozkiem technologie je programovatelná bezpečnostní jednotka Compact GuardLogix 5380 Controller, pomocí sítě LAN komunikuje s ostatními prvky připojenými na tuto síť. Prvním důležitým aspektem je nastavení IP adres jednotlivých prvků. V tabulce 4 jsou vypsané nastavené statické IP adresy. Masky sítě je jednotná – 255.255.255.0.

Tabulka 4 - Nastavené IP adresy pro prvky připojené sítě LAN

Zařízení	Umístění	Označení	Nastavená IP adresa	Číslo portu
5069-L310ERS2	Výukový panel 1	A1	192.168.1.30	2
1734-AENTR	Výukový panel 1	A2	192.168.1.31	1
440C-ENET (pro 440C-CR30)	Výukový panel 2	A15	192.168.1.35	1
440R-ENETR (pro GuardLink)	Výukový panel 2	GL1	192.168.1.36	1

Nastavení IP adresy u A1 jsem provedl pomocí softwaru BOOTP-DHCP tool od firmy Rockwell Automation. Adresa je nastavená na číslo portu číslo 2.

Pro 1734-AENTR nastavení IP adresy lze provést mechanicky na přepínači umístěném na přední straně I/O modulu, nastavuje se poslední trojčíslí adresy 192.168.1.XXX, nebo opět pomocí softwaru BOOTP-DHCP tool, popřípadě po zadání IP adresy modulu do prohlížeče a připojení se k němu, lze IP adresu změnit i zde. I/O modul obsahuje 2 přípojné místa pro konektor RJ45.

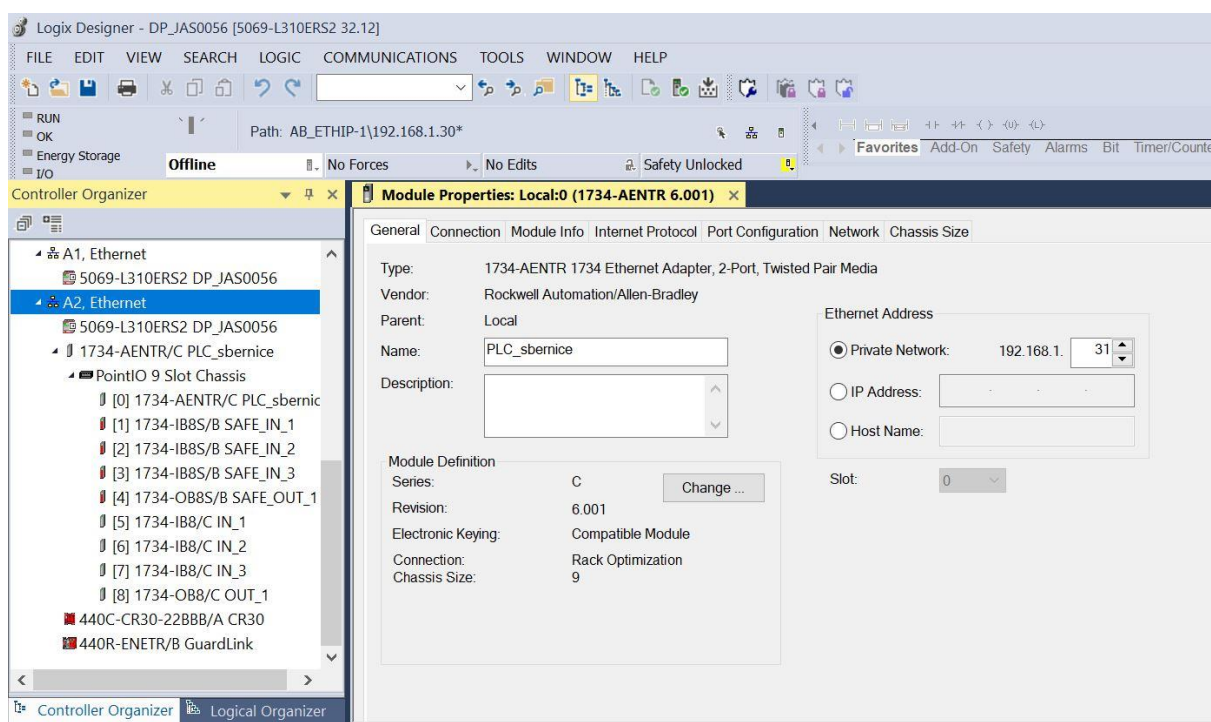
Bezpečnostní programovatelné relé 440C-CR30 je osazeno pro komunikaci ethernetovým modulem 440C-ENET. IP adresa se nastavuje softwarem BOOTP-DHCP tool.

Poslední prvek připojený k síti je komunikační modul pro sběrnici GuardLink – 440R-ENETR. Nastavení adresy IP je možné podobně jako u 1734-AENTR. 440R-ENETR má na čelní straně umístěny přepínače ABC, pomocí kterých lze nastavit poslední trojčíslí adresy 192.168.1.ABC. Tak jako u předchozích, nastavení lze provést pomocí softwaru.

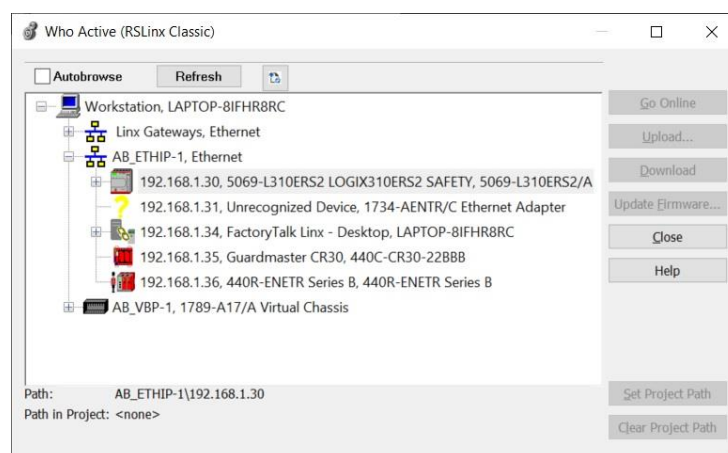
Nastavené IP adresy na jednotlivých komunikačních prvcích, které jsou připojené do sítě, lze snadno zjistit například pomocí softwaru RSLinx Classic od společnosti Rockwell Automation.

U prvků, které mají možnost nastavení IP adresy pomocí mechanických přepínačů, v mé aplikaci 1734-AENT a 440R-ENETR, je snadná možnost nastavení prvku do továrního nastavení. Pokud na přepínačích pro nastavení IP adresy poslední trojčíslí nastavíme hodnotu 888, zapneme a vypneme napájení, dojde k resetu prvku do továrního nastavení.

Programování bezpečnostní programovatelné jednotky Compact GuardLogix 5380 Controller realizují v softwaru Studio 5000 Logix Designer. První krok při vytváření programu je vybrání správné použité jednotky ze seznamu, v mém případě 5069-L310ERS2. Při otevření programu s vybranou jednotkou nastavuji její parametry, například IP adresu. V dalším kroku přiřazuji veškeré moduly. K portu A2 přiřazuji I/O modul 1734-AENTR/C, při vybrání modulu se otevírá karta, kde vybírám, že se jedná o verzi C a dále, zadávám nastavenou adresu IP. Následně k modulu přiřazuji jednotlivé karty, které jsou na I/O modulu osazeny: 3x 1734-IB8S, 1734-OB8S, 3x 1734-IB8 a 1734-OB8. I/O modul obsahuje celkem 9 šasi. Druhým prvkem v hierarchii je modul 440C-CR30-22BBB/A, který je osazen modulem pro ethernetové rozhraní 440C-ENET, při otevření okna opět zadávám nastavenou IP adresu. Poslední modul komunikující s hlavní jednotkou je 440R-ENETR. Tak jako u předchozích modulů, i zde zadávám nastavenou IP adresu. Hotová konfigurace vypadá následovně:

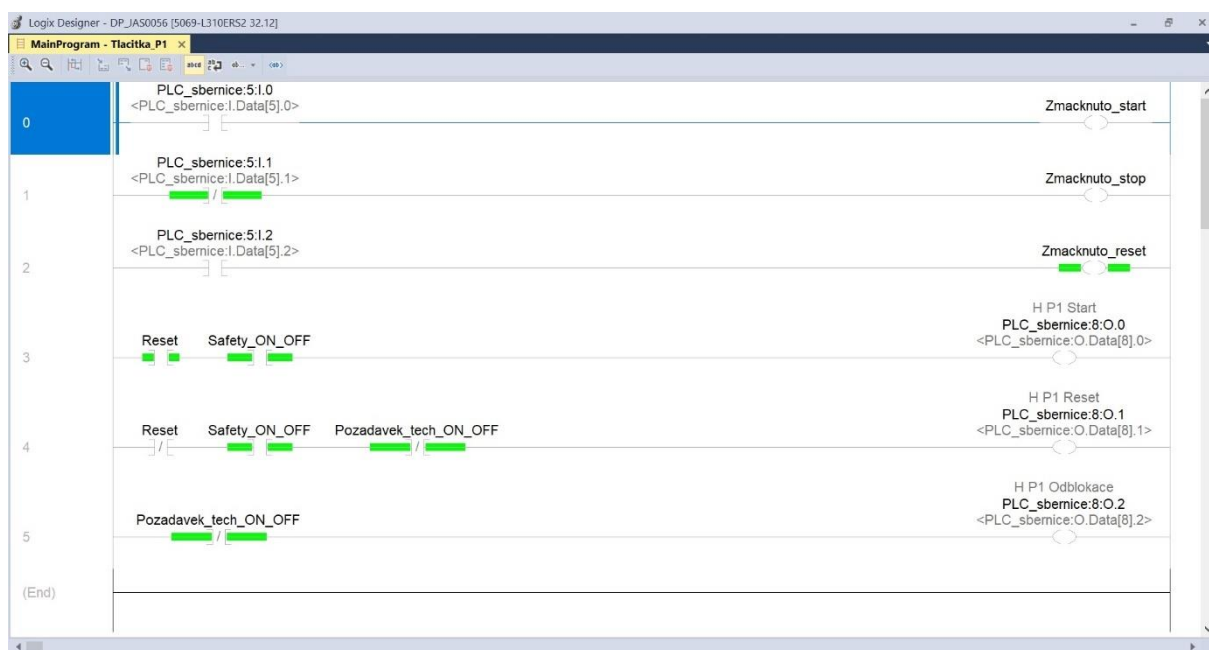


Obrázek 27 - Vytvořená konfigurace jednotky 5069-L310ERS2 v programu Logix Designer



Obrázek 28 - Zjištění připojených prvků pomocí RSLinx Classic

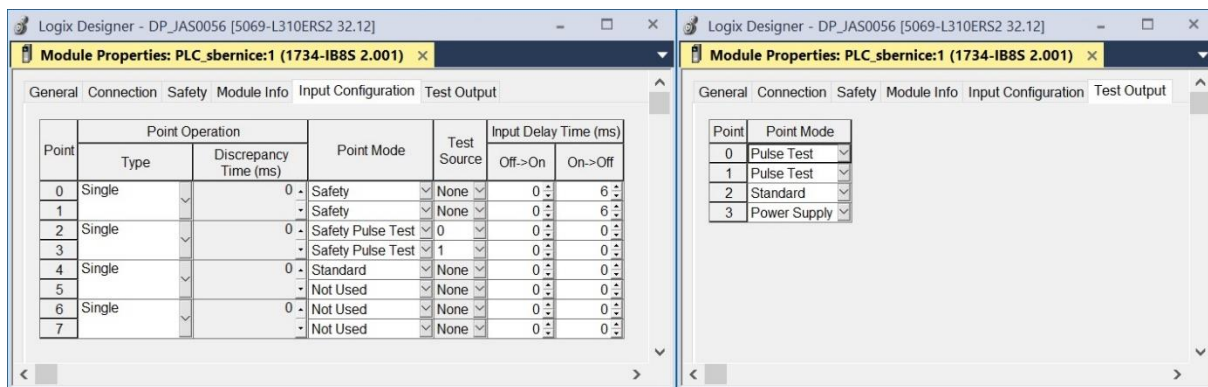
Programová část je rozdělena na hlavní a bezpečnostní program. Programování provádím pomocí Ladder diagramu. Jedná se o grafický programovací jazyk, který se využívá k programování PLC. Lze v něm provádět logické, sekvenční, počítací, časové a aritmetické úlohy za účelem provedení aplikace pro průmyslovou automatizaci. Programování provádím pomocí takzvaného žebříkového diagramu. V hlavní části programu se nachází část, která nesouvisí přímo s bezpečnostními prvky. Pracuji zde se vstupy tlačítek umístěných na výukovém panelu 1, s výstupy pro světelnou signalizaci tlačítek, které se nacházejí na výukových panelech 1 a 2. Tlačítka pro start, stop a reset technologie jsou připojena na klasickou DI kartu 1734-IB8. Výstupy pro signalizaci tlačítek výukových panelů jsou vyvedeny z DO karty 1734-OB8. V hlavní části nepracuji s bezpečnostními vstupy a výstupy karet umístěných na I/O modulu 1734-AENTR.



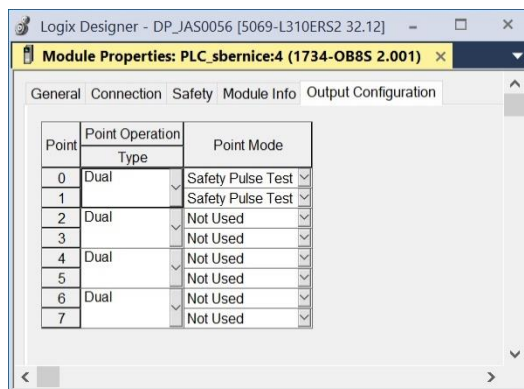
Obrázek 29 - Ukázka programu z hlavní části v Logix Designer

V bezpečnostní části programu pracuji se všemi prvky připojenými na bezpečnostní karty modulu 1734-AENTR. Na první DI kartu 1734-IB8S připojuji solenoidový zámek. Ke kartě jsou připojeny vstupy a výstupy OSSD A a B, napájení 24 V DC zámku, Aux signalizující stav a výstup pro odemčení zámku, který je veden přes tlačítko S2. Kartou jsem doplnil zapojením EDM pro KA1 a KA2. Na druhou DI kartu připojuji senzor na detekci ruky, zapojeny jsou pouze svorky pro vstupy OSSD 1 a 2. Vodič sloužící pro nastavování střeženého prostoru není zapojen (N/C). Ke třetí DI kartě připojuji tlačítko E-STOP s tenzním vstupem. Z karty je realizováno napájení 24 V DC, vstupy a výstupy OSSD A a B. Signál Aux a Tenze jsou N/C, pokud by byl požadavek na signalizaci ztráty tenze, lze připojit k DI kartě. Tak jako u první karty, i zde doplňuji zapojení EDM pro KA1 a KA2. Čtvrtá karta modulu 1734-AENTR je osazena DO kartou 1734-OB8S. Bezpečnostní výstupy karty ovládají dvojici stykačů KA1 a KA2.

Jednotlivé bezpečnostní vstupní a výstupní karty nastavuji v programu Logix Designer podle toho, jaké zařízení k nim připojuji. U vstupních DI karet provádím nastavení na záložkách „Input Configuration“ a „Test Output“. U výstupních karet nastavuji parametry v záložce „Output Configuration“.

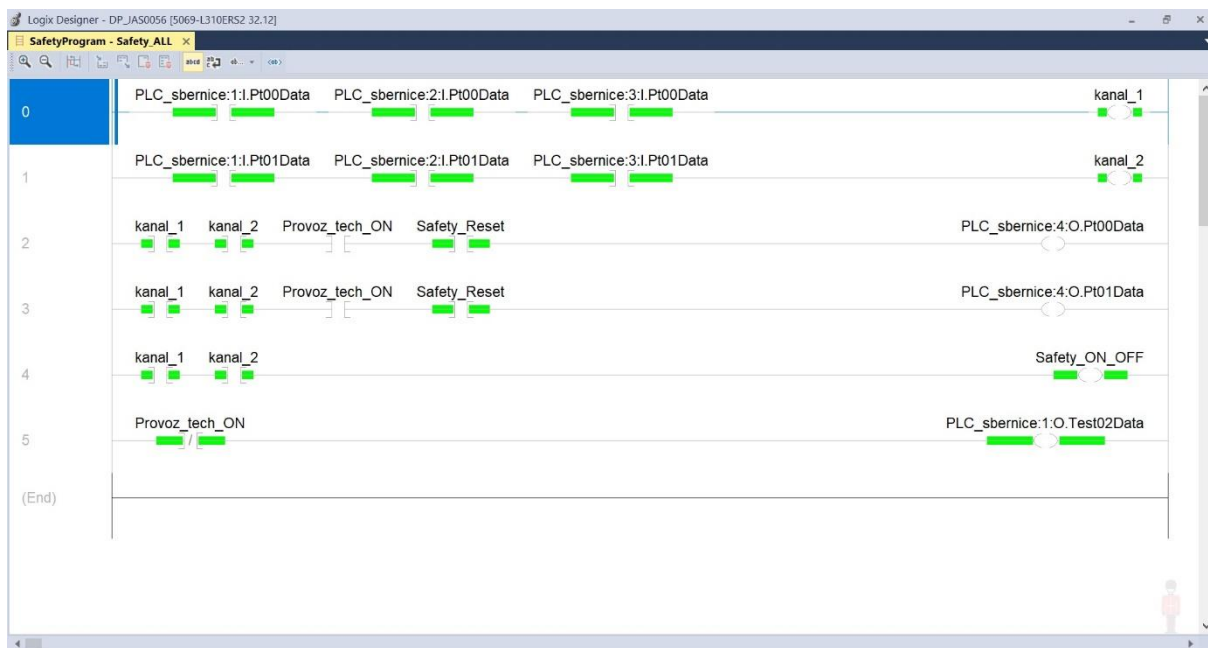


Obrázek 30 - Nastavení první DI karty pro připojení solenoidového bezpečnostního zámku



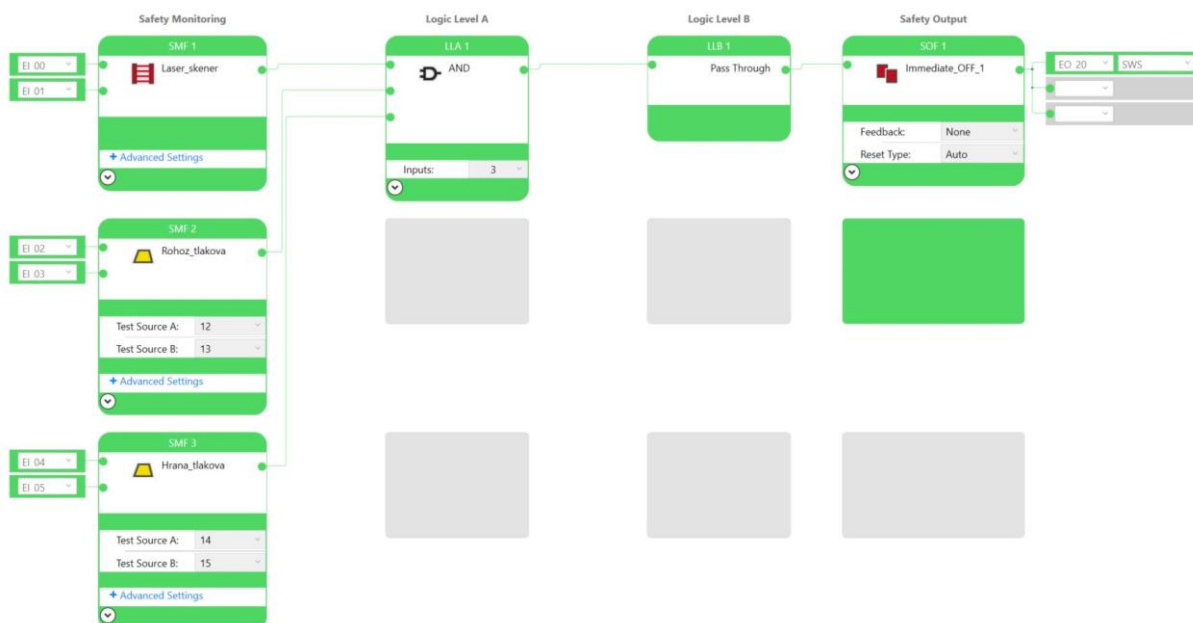
Obrázek 31 - Nastavení DO karty pro připojení bezpečnostních stykačů KA1 a KA2

Po nastavení bezpečnostních DI a DO karet se přesouvám k vytvoření bezpečnostní logiky v bezpečnostní části programu. Pro sepnutí stykačů připojených na DO kartu musí být splněny následující podmínky: solenoidový zámek musí být uzamčen, výstupy na senzoru detekce ruky a tlačítku E-STOP musí být aktivovány – E-STOP není aktivován hříbkem ani tenzním vstupem. Pokud došlo k prvnímu zapnutí, uzamčení bezpečnostního solenoidového zámku nebo vybavení bezpečnostní funkce na senzoru detekce ruky případně tenzního E-STOP tlačítka je před uvedením do provozu požadován reset. Pokud je technologie v chodu, výstup pro odemčení solenoidového zámku není aktivován. K aktivaci dochází po vypnutí technologie ať už tlačítkem stop, popřípadě vybavením bezpečnostní funkce. V bezpečnostní části programu definuji všechny proměnné přicházející na bezpečnostní karty DI.



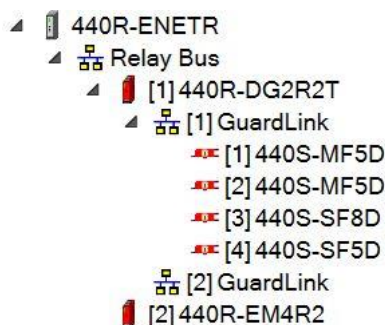
Obrázek 32 - Ukázka programu z bezpečnostní části v Logix Designer

K programování bezpečnostního programovatelného relé využívám software Logix Designer. Programovací prostředí pro 440C-CR30 se nachází na záložce „Logic Configuration“. Do pracovní plochy umísťuji bezpečnostní monitorovací funkce, logické funkce a bezpečnostní výstupní funkční bloky. Na vstup programovatelného relé připojuji bloky: světelná závora – stejná funkce jako u laserového skeneru – 2x blok bezpečnostní rohože, jeden využit pro bezpečnostní rohož, druhý pro hranu citlivou na tlak. Logický člen AND vysílá na výstup signál pouze tehdy, pokud nedochází k narušení střeženého prostoru. Reset této logiky jsem nastavil na automatický. Výstup řeším SWS signálem připojeným do DG relé pro sběrnici GuardLink.



Obrázek 33 - Pracovní prostředí při programování relé 440C-CR30

U bezpečnostního konfigurovatelného relé 440R-DG2R2T v softwaru Logix Designer nastavují pouze kohoutky umístěné na sběrnici GuardLink. Volba probíhá z předdefinovaných 4 typů kohoutků, které se mohou na sběrnici vyskytnout. Buď je můžeme zadat ručně, nebo po připojení komunikační jednotky 440R-ENETR k paketu relé Guardmaster, lze stáhnout konfiguraci připojených prvků přímo do softwaru. Na samotném bezpečnostním DG relé při aktivaci nastavujeme pomocí tlačítek „Config/Set“ a „Sel./Slave“ aktivitu jednotlivých vstupů a výstupů relé.

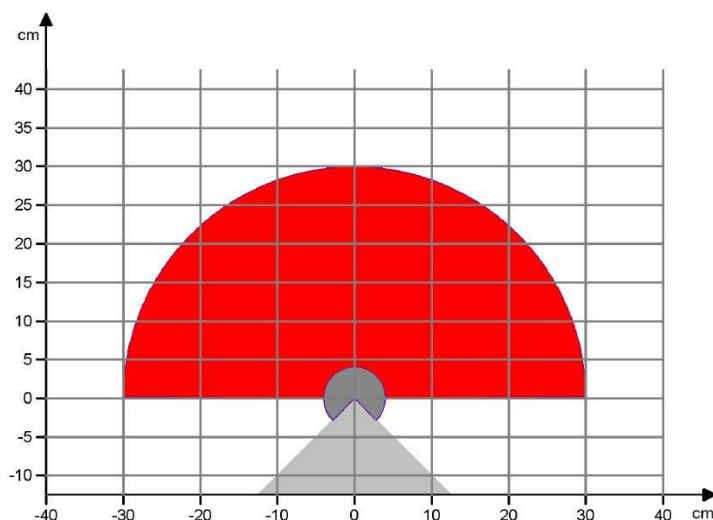


Nastavení relé 440R-DG2R2T:

OUT	●	Aktivována jedna bezpečnostní funkce
IN1	●	Aktivní vstup pro GuardLink
IN2	●	Neaktivní
OUT X	●	Aktivní SWS výstup
IN X	●	Aktivní SWS nebo OSSD vstup
RESET	●	Manuální reset
FE	●	Reset funkce výstupu

Obrázek 34 - Hierarchie prvků pro sběrnici GuardLink

Jediný bezpečnostní komponent v aplikaci, který se musí před uvedením do provozu konfigurovat je laserový skener. Nastavování provádím v softwaru Safety Configuration & Diagnostic Software, ten je dodáván společně s laser skenerem. Nastavuji zde, zdali se skener nachází ve stacionární či mobilní aplikaci, požadované rozlišení – u rozlišení 30 mm maximální ochranná vzdálenost 1,25 metru, při 40 mm maximálně 1,6 metru a při rozlišení 50 a 70 mm maximálně 2 metry. Nastavení EDM neaktivuji, 2 výstražné pole nezapínám a nastavení resetu volím automatické, lze jej zakázat nebo nastavit po uplynutí určité doby. V posledním kroku nastavování přichází na řadu nakreslení polí, které má laserový skener hlídat. Pro naši aplikaci nastavuji rozlišením 40 mm, volím jedno ochranné pole o poloměru 30 cm – pro demonstraci, aby při ukázkách nedocházelo k častému vypínání. Počet detekcí přítomnosti osoby v ochranném pásmu, které musí laser skener provést, než dojde k zastavení technologie lze volit od 2 do 16 – volím 5.



Obrázek 35 - Nastavené detekované pásmo laser skeneru

4. Kontrola navrženého systému

Pro potvrzení celkové bezpečnosti navržených komponentů technologie, provádím ověření navrženého systému. To lze provést například za pomoci softwaru SISTEMA nebo Safety evaluation tool. Druhý zmíněný program má na výběr, zdali chceme provádět kontrolu dle normy ČSN EN ISO 13 849-1 nebo IEC 62061.

Kontrolu provádím pro obě části technologie – výukový panel 1 a 2. V projektu jsem založil 3 oblasti:

- Oblast pro Compact GuardLogix 5380
- Oblast pro CR30
- Oblast pro GuardLink

Každá oblast obsahuje bezpečnostní funkci, kde se zadávají hodnoty pro: detekci, hodnocení a reakci. Pro detekci v první oblasti využívám solenoidový zámek, senzor detekce ruky a E-STOP s tenzním vstupem. U všech prvků zadávám PL a PFH_D – výsledkem pro detekci je součet PFH_D využitých prvků, vycházející ze vztahu:

$$PFH_D = PFH_{D1} + PFH_{D2} + PFH_{D3} \quad (5.1)$$

$$PFH_D = 1.70 \text{ E} - 09 + 3.20 \text{ E} - 09 + 1.32 \text{ E} - 09 \quad (5.2)$$

$$PFH_D = 6,22 \text{ E} - 09 \quad (5.3)$$

<div>Projekty</div> <div> <div>Uživatelské projekty</div> <div> <div>DP_JAS0056</div> <div> <div>Oblast pro Compact GuardLogix 5380</div> <div> <div>Bezpečnostní funkce</div> <div> <div>DETEKCE</div> <div> <div>1 - Solenoidový zámek</div> <div>2 - Senzor detekce rukou</div> <div>3 - E-STOP s tenzním vstupem</div> </div> </div> <div>HODNOCENÍ</div> <div> <div>CGL 5380</div> </div> <div>REAKCE</div> <div> <div>Skupina pohonu</div> </div> </div> </div> <div>Oblast pro CR30</div> <div> <div>Bezpečnostní funkce</div> </div> <div>Oblast pro GuardLink</div> <div> <div>Bezpečnostní funkce</div> </div> </div> </div>	
<div> <div>Popis</div> <div>Oblast CGL 5380 - Detekce</div> </div>	
<div>Funkční oblast - zohlednění bezpečnostní integrity podle podle ISO 13849-1</div>	
Dosažené PL:	PL d
Dosažené PFHD:	6,22 E-09
Funkční oblast	<div> <div>PL a</div> <div>PL b</div> <div>PL c</div> <div>PL d</div> <div>PL e</div> </div>
<div>Další funkce</div>	

Obrázek 36 - Dosažené PL a PFH_D pro skupinu bezpečnostních prvků výukového panelu 1

Tímto způsobem pokračuji pro veškeré bezpečnostní funkce všech oblastí. U prvků, které nemají určené PL a PFH_D, například E-STOP na sběrnici GuardLink, se provádí výpočet zadáváním následujících hodnot:

- kategorie 3 – dvoukanálové zapojení
- hodnota $B_{10D} = 1.35 \text{ E}+05$
- DC – volím 90 %
- životnost – 20 let
- počet spínacích cyklů – 1 denně
- CCF - ≥ 60

Z těchto hodnot dostávám výsledek: PFH_D = 4,29 E-08 a hodnotu PL d.

název	1 - E-STOP		Komentář	
Typ	<input checked="" type="radio"/> Vyžadují se zákaznická data <input type="radio"/> SIL / PL existuje	Kategorie obvodu	3 ▼	Nr. komponent
				1 ▼
Kanál 1	Kanál 2			
Výrobce	Výrobce třetí strany ▼		Referenční označení	
Výpočet Faultrate	s hodnotou B10D ▼		DC (%)	90 (střední)
Číslo objednávky		Popis	Max. životnost (v letech)	20
Více objednacích čísel			B10D (provozní cykly)	1.35 E+05
Počet operací / interval testu (spínací cykly)	1	Denně ▼	MTTFD (v letech)	3,698,63 (vysoký)
Doplňkové poznámky				
Zohlednění bezpečnostní integrity podle ISO 13849-1				
CCF (body)	≥ 65 ▼	Odhad CCF	PL	PL d
			PFHD	4,29 E-08
Posouzení integrity bezpečnosti				
Bezpečnostní funkce	PL a	PL b	PL c	PL d
				PL e

Obrázek 37 - Výpočet PL a PFH_D pro tlačítko E-STOP na sběrnici GuardLink

Požadovanou hodnotu PL d plní všechny části bezpečnostního ovládacího systému. Technologie je správně navržena.

Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navržení bezpečnostní části ovládacího systému pro vybrané strojní zařízení. V první části jsem se věnoval problematice, související s bezpečností strojních zařízení, legislativě, základním pojmům vycházející z normy ČSN EN ISO 12 100 a významu bezpečnosti strojních zařízení.

Ve druhé části jsem se seznámil normou ČSN EN ISO 13 849-1, které se zabývají bezpečností strojních zařízení, věnuje se posouzení, analýze a snižování rizik. Dále se věnuji postupu při určování požadované PL_r a představení snižování rizik pomocí 3 možností.

Ve třetí části nejprve představuji navrženou technologii, provádím posouzení a analýzu rizik, která v technologii mohou reálně nastat při nedodržení pracovních postupů nebo při nedbalém chování obsluhy a přítomných osob. Každé riziko jsem posuzoval zvlášť a došel k závěru, že tři rizika vyžadují bezpečnostní prvky spadající do PL d. Jelikož k technologii přistupuji jako k celku, volím bezpečnostní komponenty a řídicí systémy tak, aby všechny využitě bezpečnostní prvky plnily minimálně PL d, a to pro všechna posuzovaná rizika. Pro návrh bezpečnostních komponentů jsem si zvolil firmu Rockwell Automation, respektive Allen-Bradley. Představuji využitě bezpečnostní prvky, uvádím jejich výhody a nevýhody. Technická specifikace komponentů se nachází v příloze 2. Ze všech komponentů následně navrhuji model technologie skládající se ze dvou výukových panelů. Návrh těchto panelů je v příloze číslo 3 – Projektová dokumentace. Nakonec jsem se ve 3 části věnoval nastavování a programování bezpečnostních komponentům.

Ve čtvrté části jsem provedl kontrolu správnosti navrženého systému za pomoci programu Safety evaluation tool. Do softwaru zadávám potřebné vstupní hodnoty použitých prvků technologie, program určí, zdali jsou komponenty zvoleny správně. Z výsledku, které říkají že, všechny části splňují minimálně PL d docházím k závěru, že systém je navržen správně.

Při návrhu jsem měl k dispozici normy, ČSN EN ISO 12 100 - norma typu A, ČSN EN ISO 13 849-1 je norma typu B1. S normou typu C se v práci nesetkávám, detailně nenavrhuji žádné strojní zařízení. Pokud bych se věnoval například návrhu robota, vycházel bych z normy typu C, ČSN EN ISO 10 218-1.

Výsledkem diplomové práce jsou 2 výukové panely, představující bezpečnostní části ovládacích systémů. Panely mohou sloužit jak při samotné výuce, tak například při dni otevřených dveří k prezentaci Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, Fakulty elektrotechniky a informatiky.

Jako možnost rozšíření diplomové práce do budoucna nacházím ve využití dalšího PLC, které bude obsahovat program simulující technologický proces. Následující šanci rozšíření nacházím ve využití vizualizačního rozhraní, kde bychom mohli sledovat, popřípadě simulovat stavy technologie.

Na diplomové práci jsem se podílel nejen projekční činností a programovou prací, ale částečně i praktickou realizací. Jednoduchý návod k obsluze je uveden v příloze číslo 5.

Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN ISO 12 100: *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika*. ÚNMZ, 2011.
- [2] ČSN EN ISO 13 849-1: *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci*. ÚNMZ, 2017.
- [3] PELIKÁN, Filip. *Školení firmy SICK, spol. s.r.o.* 2019. Dostupné také z: <https://www.sick.com/cz/cs>. Absolvování odborného školení: Zabezpečení strojů a strojních zařízení dne 11.2.2020, Analýza rizika pro strojní zařízení dle ČSN EN ISO 12 100 dne 12.2.2020 v Praze.
- [4] *Rockwell Automation: Our History* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.rockwellautomation.com/global/about-us/overview.page?pagetitle=Our-History&docid=a162d41cd4310beab22a277ea3d4e2ac>
- [5] *Allen-Bradley: Product Directory* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://ab.rockwellautomation.com/allenbradley/productdirectory.page?>
- [6] *Rockwell Automation: Produkty* [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: https://www.rockwellautomation.com/cs_CZ/products/overview.page?
- [7] *Automatizace.hw: Nouzové zastavení stroje. Volba a použití tlačítek E-STOP* [online]. 2015 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-komponenty/nouzove-zastaveni-stroje-volba-a-pouziti-e-stop-tlacitek.html>

Seznam příloh

Příloha č. 1 – Technická zpráva

Příloha č. 2 – Technická specifikace

Příloha č. 3 – Výkresová část

Příloha č. 4 – Seznam kabelů

Příloha č. 5 – Návod k obsluze